

**С. РУЖИНСКИЙ
А. ПОРТИК
А. САВИНЫХ**

ВСЕ О ПЕНОБЕТОНЕ

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ
УЛУЧШЕННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

ООО «СТРОЙ-БЕТОН»

**Санкт-Петербург
2006**

Ружинский С. и др.

Все о пенобетоне. – 2-е изд., улучшенное и дополн. – Спб, ООО «Строй Бетон», 2006, 630 с.: ил.

Вы держите в руках второе издание книги «Все о пенобетоне».

Здесь вы найдете всю информацию, необходимую для организации производства пенобетона, – как теорию, которую необходимо знать любому производителю, так и практические рекомендации, технологии, способы изготовления и применения.

Издание будет полезно как начинающим производителям, так и профессионалам.

К книге прилагается компакт-диск с нормативными документами и уникальной «Библиотекой строителя» – это 500 книг, статей и журналов по прикладному и научному бетонovedению, общим объемом почти 100 тысяч страниц, – все самое ценное, интересное и полезное, что было создано отечественной наукой.

ISBN ???

© С. Ружинский, 2006

© А. Портник, 2006

© А. Савиных, 2006

© ООО «Строй Бетон», 2006

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	11
ЧАСТЬ 1. С. РУЖИНСКИЙ. ВСЕ О ПЕНОБЕТОНЕ	19
ОТ АВТОРА	21
ВВЕДЕНИЕ	23
ГЛАВА 1. ПЕНООБРАЗОВАТЕЛИ В ТЕХНОЛОГИИ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ	40
1.1 Способы контроля и управления процессом пеногенерации.	41
1.1.1 Поверхностные явления и их природа.....	41
1.1.2 Адсорбция на границе «жидкость–газ».	41
1.1.3 Формирование пенного пузырька	44
1.1.4 Формирование пены.....	46
1.1.5 Стабилизация пены и факторы ее обуславливающие.	49
1.1.5.1 Фактор устойчивости, обусловленный эффектами Марангони и Гиббса.	49
1.1.5.2 Фактор устойчивости обусловленный теорией ДЛФО.	50
1.1.5.3 Факторы устойчивости обусловленные гидродинамическими процессами в жидкости.....	51
1.1.5.4 Минимизация истечения жидкости по каналам Плато регулировкой гидродинамических характеристик жидкости.	52
1.1.5.5 Минимизация истечения жидкости путем закупорки каналов Плато.....	53
1.1.5.6 Минимизация истечения жидкости путем управления капиллярными силами.	53
1.1.5.7 Структурно-механические факторы устойчивости.	54
1.1.5.8 Факторы устойчивости обусловленные диффузионным переносом газа.	55
1.1.5.9 Гидродинамический фактор устойчивости.	56
1.1.5.10 Фактор устойчивости пены, обусловленный кристаллохимическими особенностями вяжущего.	57
1.2. Основные требования предъявляемые к пенообразователям в технологии ячеистых бетонов	58
1.2.1 Этапы существования пены, как ячеисто-пленочной структуры.	59
1.2.2 Взаимосвязь структуры пены и технологического регламента производства пенобетона.....	60
1.2.2.1 Технологический регламент – «метод сухой минерализации».	61
1.2.2.1.1 Некоторые технологические особенности реализации технологического регламента «метод сухой минерализации».	65
1.2.2.2 Технологический регламент «традиционная технология».	67
1.3 Общие принципы изготовления пенообразователей.	69
1.3.1 Пенообразователь на основе смоляных кислот – клееканифольный пенообразователь.	70
1.3.1.1 Технологический регламент приготовления клееканифольного пенообразователя.	71
1.3.2 Пенообразователь на основе природных сапонинов – сапониновый пенообразователь.....	73

1.3.2.1	Источники природных сапонинов.	74
1.3.3	Пенообразователи на основе животных белков – пенообразователь ГК	77
1.3.3.1	Технологический регламент приготовления пенообразователя ГК (Пенообразователь ПО-6)	78
1.3.4	Пенообразователи на основе синтетических ПАВ.	85
1.3.4.1	Пенообразователи из нефтяных кислот – алюмосульфонефтяной пенообразователь.	86
1.3.4.1.1	Технологический регламент приготовления алюмосульфонефтяного пенообразователя.	87
1.3.4.2	Пенообразователи из производных нафталина – клее-некалевый пенообразователь.	96
1.4	Сравнительно оценочная характеристика пенообразователей	105
1.5	Дискуссии в Интернете по теме пенообразователей.	112
1.6	Серийно производимые пенообразователи для изготовления пенобетона.	137
1.6.1	Основные требования налагаемые на пенообразователи применяемые для производства пенобетона.	137
1.6.2	Производители пенообразователей для пенобетона	140
1.7	Газообразователи в технологии автоклавных и неавтоклавных ячеистых бетонов.	140
1.7.1	Химико-физические основы формирования ячеистой структуры алюминиевой пудрой.....	142
1.7.1.1	Фактор однородности алюминиевой пудры.....	144
1.7.1.2	Фактор температуры.....	144
1.7.1.3	Фактор pH раствора.	147
1.7.1.4	Фактор обусловленный минералогией цемента.....	147
1.7.2	Общие выводы и рекомендации.	151
ГЛАВА 2.	ВЗАИМОСВЯЗЬ МАКРОСТРУКТУРЫ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ С ИХ ПРОЧНОСТЬЮ	152
2.1	Зависимость прочности ячеистых бетонов от их объемного веса.	152
2.2	Увеличение прочности ячеистых бетонов в результате улу чшения организации их порового пространства.....	154
2.2.1	Обсуждение в Интернете метода вибровспучивания.	156
2.3	Методологическое обеспечение технологии вибровспучивания ячеистых бетонов.	158
ГЛАВА 3.	ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕНОБЕТОНОВ.....	160
3.1	Уроки истории.....	160
3.2	Основные направления модифицирования и оптимизации применительно к прикладному бетоноведению.	165
3.2.1	Модификация воды.....	167
3.2.1.1	Твердение цементного камня затворенного омагниченной водой.....	170
3.2.1.2	Аппараты для омагничивания воды с постоянными магнитами	172
3.2.1.3	Аппараты для омагничивания воды с электромагнитами.	174

3.2.1.4	Некоторые соображения по поводу применимости омагниченной воды в прикладном бетонедедеии.	177
3.2.2	Роль заполнителей в тяжелых бетонах.	181
3.2.2.1	Воздушные поры – заполнитель ячеистых бетонов.	184
3.2.2.2	Физические основы модификации заполнителей	185
3.2.2.2.1	Влияние соотношения модулей упругости заполнителей и цементной матрицы на прочность бетонов.	186
3.2.2.2.2	Влияние толщины прослойки цементной матрицы, разделяющей зерна заполнителя на прочность бетонов.	186
3.2.2.3	Физические основы формирования пустотности цементной матрицы.	187
3.2.2.4	Вредные примеси в песке	188
3.2.2.5	Изменение насыпной плотности песка от влажности.	189
3.2.2.6	Методы модификации заполнителей.	191
3.2.2.6.1	Модификация песка рассевом на фракции.	191
3.2.2.6.2	Модификация песка гидроклассификацией.	191
3.2.2.6.3	Модификация песка измельчением	191
3.2.2.6.4	Модификация песка обогащением мелкой фракцией.	192
3.2.2.6.5	Химические способы модификации мелкого заполнителя.	192
3.2.2.7	Модификация заполнителей по правилу ТРИЗ	193
3.2.3	Модификация соотношения Вода/Цемент (В/Ц)	195
3.2.3.1	Вода и ее виды в бетонной смеси	197
3.2.3.2	Механизм обводнения бетонной смеси.	198
3.2.3.3	Внутреннее водоотделение в твердеющем цементном камне.	199
3.2.3.4	Влияние отдельных факторов на прочность бетонов.	200
3.2.3.5	Физическая сущность понятия «степень гидратации цемента».	201
3.2.3.6	Физическая сущность понятия «В/Ц».	202
3.2.4	Активация цементов в ходе предварительной глубокой гидратации как способ их направленной модификации.	203
3.2.4.1	Цепной смеситель-активатор.	206
3.3	Оптимизация технологического регламента мерами организационного плана.	208
3.3.1	Пневматическое оборудование по транспортированию цемента.	210
3.3.1.1	Классификация пневматического оборудования.	210
3.3.1.2	Установки с применением аэрации.	213
3.3.1.3	Автоцементовозы и автозолотовозы.	216
3.3.1.4	Некоторые практические соображения и «производственные секреты» работы цементовозов.	218
3.3.2	Механическое оборудование по транспортированию цемента. Винтовые конвейеры.	223
3.3.3	Специализированное оборудование для хранения и транспортирования цемента.	224
3.3.3.1	Спиральный перегрузчик цемента	225
3.4	Улучшение характеристик тяжелых и ячеистых бетонов минимизацией в них усадочных явлений.	229
3.4.1	Усадочные явления сопровождающие твердение цементного камня.	229
3.4.2	Дискуссия в Интернете по добавкам – компенсаторам усадки.	234

3.5 Улучшение качества пенобетона в результате смены технологического регламента. ...247	247
3.5.1 Технологический регламент «баротехнология» 247	247
ГЛАВА 4 МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ ДОБАВОК СПЕЦИАЛЬНЫХ ПАВ НА БЕТОННЫЕ КОМПОЗИЦИИ. 249	249
4.1 Структура бетонной смеси. 250	250
4.2 Способы модификации цементного камня 253	253
4.3 Добавки модифицирующие цементный камень путем оптимизации В/Ц..... 255	255
4.3.1 Пластификаторы 1 группы эффективности – Суперпластификаторы..... 257	257
ГЛАВА 5. ГИДРОФОБИЗАТОРЫ 263	263
ГЛАВА 6. УСКОРИТЕЛИ СХВАТЫВАНИЯ И ТВЕРДЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНОВ. 278	278
6.1 Из истории вопроса..... 279	279
6.2 Основные ускорители схватывания и твердения, применяемые в бетонных композициях..... 280	280
6.3 Углекислые соли. 281	281
6.3.1 Натрий углекислый. 281	281
6.3.2 Поташ..... 282	282
6.3.2.1 Воздействие поташа на основные минералы цементного клинкера на стадии схватывания. 284	284
6.3.2.2 Воздействие поташа на основные минералы цементного клинкера на стадии твердения. 286	286
6.4 Силикат натрия..... 288	288
6.4.1 Пенобетон на основе жидкого стекла. 290	290
6.5 Серноокислые соли 294	294
6.5.1 Натрий серноокислый – Na_2SO_4 294	294
6.5.2 Натрий тиосульфат – $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ + натрий роданид – NaCNS 295	295
6.5.3 Кальций серноокислый (гипс) CaSO_4 302	302
6.6 Применение молотой извести-кипелки с соляной кислотой в качестве интенсификатора твердения тяжелых и ячеистых бетонов. 305	305
6.6.1 Тепловыделение при гашении извести 308	308
6.6.2 Влияние саморазогрева бетона на схватывание 312	312
6.6.3 Влияние совместного введения извести и соляной кислоты на твердение цемента. 313	313
6.6.3 Влияние хлоридов на иные показатели бетона 316	316
6.7 Готовые хлористые соли, как ускорители схватывания и твердения бетонов. 318	318
6.7.1 Хлорид кальция..... 320	320
6.7.1.1 Механизм действия хлористого кальция на цемент. 323	323
6.7.1.2 Влияние (ХК) на ускорение схватывания цементов..... 326	326
6.7.1.3 Влияние хлористого кальция на схватывание цементов при пониженных положительных температурах..... 326	326
6.7.1.4 Влияние (ХК) на повышение пластичности бетонов. 328	328

6.7.1.5	Влияние хлористого кальция на усадку бетонов.....	328
6.7.1.6	Влияние хлористого кальция на кинетику набора прочности в первые часы твердения.....	329
6.7.1.7	Влияние хлористого кальция на твердение бетона в период 1–28 суток, и на конечную марочную прочность.....	331
6.7.1.8	Влияние хлористого кальция на твердение бетона при ТВО.....	333
6.7.1.9	Достоинства и недостатки хлористого кальция.....	333
6.7.2	Ускорение твердения бетона добавками хлорокси кальция (кэла).....	336
6.7.2.1	Кэл – ускоритель для производства пенобетона по методу сухой минерализации.....	337
6.7.3	Другие хлористые соли – примеси.....	338
6.7.4	Обсуждение темы ускорителей-хлоридов в Интренете.....	340
6.8	Нитраты Кальций азотнокислый $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ и натрий азотнокислый – NaNO_3	344
6.8.1	Влияние нитрата кальция на бетонные смеси на стадии схватывания.....	346
6.9	Сводная информация по ускорению твердения бетона и пенобетона.....	346
6.9.1	Сравнительно-оценочная характеристика добавок-ускорителей.....	348
6.9.2	Влияние В/Ц на кинетику набора прочности бетонами.....	350
6.9.3	Уплотнение бетона, как фактор управления кинетикой набора прочности для прессованных и вибропрессованных бетонов.....	351
6.9.4	Влияние домола цемента на прочностные характеристики бетонов.....	352
6.9.5	Ускорение твердения бетона и пенобетона путем предварительного разогрева бетонной смеси.....	356
6.9.5.1	Некоторые методологические замечания к вопросу предварительного разогрева бетонов.....	360
6.9.5.1.1	Влияние температуры среды на количество воды для получения теста нормальной густоты (НГ).....	360
6.9.5.1.2	Влияние температуры среды на всасывающую способность песка и щебня.....	361
6.9.5.1.3	Влияние температуры среды на сроки схватывания цемента.....	364
6.9.5.1.4	Влияние В/Ц бетона на сроки схватывания цемента.....	365
6.9.5.1.5	Влияние одновременно температуры среды и В/Ц на сроки схватывания цемента.....	366
6.9.5.1.6	Революция в технологии производства пенобетона? – Нет, эволюция.....	368
6.9.5.2	Обсуждение темы «Распалубка за 15 минут» в Интернете.....	370
ГЛАВА 7.	СПЕЦИАЛЬНЫЕ ЦЕМЕНТЫ.....	400
7.1	Некоторые общие сведения о цементе.....	402
7.1.1	Как и когда был открыт современный цемент?.....	405
7.1.2	Основные процессы происходящие при затворении цемента водой.....	406
7.1.3	Твердение цемента с точки зрения науки.....	407
7.2	Общие сведения о применении ПАВ в цементных системах.....	412
7.2.1	Улучшение смачиваемости цемента и заполнителей.....	413
7.2.2	Дефлокулирующее действие ПАВ на цемент.....	414
7.2.3	Пластифицирующее действие ПАВ.....	414
7.2.4	Экономия цемента в низкомарочных бетонах и тощих растворах.....	416
7.2.5	Повышение производительности труда каменщиков и штукатуров.....	417

7.2.6	Уменьшение экзотермии бетона.	417
7.2.7	Уменьшение остаточной влажности пропаренных изделий.	417
7.2.8	Повышение жизнеспособности бетонных (растворных) смесей.	418
7.3	Из истории применения гидрофобизирующих добавок в технологии бетонов.	418
7.4	Гидрофобизация тяжелых бетонов и тощих растворов.	427
7.5	Гидрофобизированные цементы.	428
7.5.1	Сущность гидрофобизации цементов.	428
7.5.2	Условия получения гидрофобного цемента.	430
7.5.3	Выбор добавок для целей гидрофобизации цемента. Их химические свойства.	433
7.6	Химические свойства веществ, из которых состоят гидрофобные пленки на цементных зернах.	437
7.7	Интенсификация помола цемента при использовании гидрофобизирующих добавок.	439
7.8	Предотвращение потери активности цемента при перевозках и хранении.	442
7.9	Эффект автоактивизации гидрофобизированных цементов при хранении.	450
7.10	Ускоренные методы оценки сохранности гидрофобизированного цемента.	455
ГЛАВА 8. ВНЕШНИЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ В ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНОВ.		457
8.1	Виброактивация цемента – как все начиналось.	457
8.1.1	Электромеханический вибратор и первые результаты экспериментов по виброактивации цементных паст.	458
8.1.2	Первые опыты по активации цементной пасты при помощи серийно выпускаемого вибратора.	461
8.1.2.1	Обобщающие результаты первых экспериментов по активации вводно-цементных паст.	465
8.1.3	Виброактивация цементно-песчаного раствора.	466
8.1.4	Влияние среднего размера зерна заполнителя на эффективную частоту виброактивации.	468
8.2	Развитие учения о виброактивации цемента.	471
8.2.1	Влияние вида и скорости механического нагружения на механохимическую активность продуктов разрушения.	472
8.2.2	Влияние химических характеристик цемента на эффективность виброактивации.	475
8.2.2.1	Влияние минералогических особенностей цементов на эффективность виброактивации.	476
8.2.2.2	Влияние добавок гипса к цементу на эффективность виброактивации.	479
8.2.2.3	Влияние температурных факторов твердения цементов на эффективность виброактивации.	480
8.2.2.4	Влияние выбора технологической схемы активации на эффективность процесса.	481
8.2.2.5	Влияние барометрических характеристик среды на эффективность виброактивации.	481
8.2.3	Особенности структурообразования цементного камня в результате виброактивации.	483

8.2.3.1	Интенсификация процессов гидратации цемента в процессе вибровоздействия.	484
8.2.3.2	Эмпирическое прогнозирование характеристик виброактивированного бетона по сравнению с обычным.	484
8.3	Активированные и специальные цементы, как альтернатива высокопрочным, быстротвердеющим и особобыстротвердеющим портландцементам цементам.	486
8.3.1	Теоретические и практические особенности производства высокопрочных и быстротвердеющих цементов из специальных клинкеров.	486
8.3.1.1	Минералогические особенности высокопрочных и быстротвердеющих цементов.	487
8.3.1.2	Влияние гранулометрического состава на активность ВПЦ и БТЦ.	487
8.3.1.3	Связь динамики гидратации цементов из специальных клинкеров с их зерновым составом.	489
8.3.1.4	Основные технологические схемы производства высокопрочных и быстротвердеющих цементов.	490
8.3.1.5	Альтернативные схемы производства высокопрочных и быстротвердеющих цементов.	491
8.3.2	Высокопрочные быстротвердеющие бетоны на предварительно глубокогидратированном цементе.	493
8.4	Механоактивация вяжущих и заполнителей.	495
8.4.1	Изменение физико-химических свойств в ходе механоактивации при тонком измельчении минеральных веществ.	495
8.4.1.1	Изменение внутренней энергии активированного минерального вещества.	495
8.4.1.2	Возможные физико-химические эффекты механоактивации.	498
8.4.2	Изменение физико-химических свойств после механоактивации при тонком измельчении минеральных веществ.	501
8.4.2.1	Изменение теплоты смачивания после механоактивации.	502
8.4.2.2	Повышение растворимости минералов после механоактивации.	502
8.4.2.3	Изменение сорбционной способности порошков.	503
8.4.2.4	Изменение энтальпии активированного вещества.	503
8.4.2.4.1	Химические формы разрядки энергии аккумулированной в ходе механоактивации.	504
8.4.3	Причинно-следственные связи изменения физико-химических свойств активированных минералов.	508
8.4.4	Особенности практической реализации механоактивации с учетом накопленного опыта и ошибок.	511
8.5	Механохимия в строительной индустрии – изобретение опередившее время.	513
8.5.1	Внедрить нельзя забыть. (куда поставить запятую?)	514
8.5.2	Что читать по теме механохимии и механоактивации в строительной индустрии.	516
ЧАСТЬ 2 А. ПОРТИК, А. САВИНЫХ. ПРОИЗВОДСТВО ПЕНОБЕТОНА И СТРОИТЕЛЬСТВО ИЗ НЕГО.		519
9.1	Введение.	521
9.2	Описание пенобетона.	521

Оглавление

9.2.1 История	521
9.2.2 Ячеистые бетоны, классификация	522
9.2.3 Характеристики пенобетона, сравнение с другими материалами	525
9.2.4 Области применения пенобетона	525
9.3 Методы производства пенобетона, их сравнение.....	529
9.4 Нормативные документы на пенобетон	531
9.5 Организация производства для начинающих.....	532
9.6 Организация завода (резка, распалубка, лаборатория).....	536
9.7 Технологический регламент пенобетона	543
9.8 Сертификация производств	543
9.9 Расчет толщины стены из пенобетона	544
9.10 Паропроницаемость стен из пенобетона.....	547
9.11 Звукоизоляция стен из пенобетона	548
9.12 Программы теплотехнического расчета, прочие строительные программы	548
9.13 Строительство дома из пенобетона.....	549
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	570
ПРИЛОЖЕНИЯ	573
1 Производители пенообразователей для пенобетона	575
2 Методологическое обеспечение технологии вибровспучивания ячеистых бетонов.....	576
2.1 Производство изделий из ячеистого силикатного бетона методом вибровспучивания.....	576
2.2 Вибровспученный газобетон. Доклад на XXI научно-исследовательской конференции.....	584
2.3 Изготовление ячеистых бетонов способом вибровспучивания.....	591
3 Унифицированные составы тяжелых цементных бетонов	601
4 Технологический регламент на производство пенобетона	610
5 Заключение о звукоизоляции перегородок из пенобетонных блоков	625

ПРЕДИСЛОВИЕ

В масштабах цивилизации жизненный цикл зданий весьма незначителен. Но в масштабах существования одного поколения людей он, фактически, равен жизни одного человека.

Человечество давно научилось строить, даже не на века, – на тысячелетия. Но в этом нет особой нужды – со сменой поколений происходит и смена культурных ценностей. Соответственно, все построенное предками рано или поздно, но всегда, морально устаревает.

У каждого нового поколения – свои критерии комфортности жилища, в соответствии с которыми и ведется строительство. Поэтому при строительстве дома, как правило, определяется срок его эксплуатации, который соизмерим со сроком жизни одного поколения, и очень редко превышает его. Жилье – это расходный материал человеческой цивилизации. Глупо и расточительно делать его «вечным».

Современные дома буквально напичканы различными инженерными системами, которые устаревают по мере развития науки и техники. Поэтому имеет смысл разбить жизненный период жилого здания на несколько циклов, по 20–25 лет, и приурочить к ним плановые реконструкции, в ходе которых осуществлять также плановую модернизацию инженерных систем. Разумеется, такие инженерные системы (в первую очередь, отопление, водоснабжение, канализация и т.д.) должны быть рассчитаны именно на такой период службы, и не более. А период эксплуатации всего здания должен быть кратным количеству плановых реконструкций и ремонтов.

Поэтому по прошествии первого периода (период т.н. «гарантированного ресурса») предусматривается плановый капитальный ремонт здания с полной или частичной заменой всех его инженерных коммуникаций и устранением прочих дефектов строительства и эксплуатации.

По окончании второго периода происходит полная амортизация стоимости здания, и нужно принимать решение о его дальнейшей судьбе. Для массового

жилья, при проектировании которого изначально подразумевался сравнительно небольшой эксплуатационный ресурс, наиболее экономически оправданное решение – снос и постройка нового.

Начиная с послевоенного периода, и по сей день структура строительства в СССР и на постсоветском пространстве отличалась массовостью и унифицированностью проектных решений. Три четверти объемов построенного за это время массового жилья – это полносборное железобетонное крупнопанельное домостроение с квартирами по социальному стандарту, оборудованными централизованными системами тепло-, водо-, электро- и газоснабжения, канализации, вентиляции и лифтовым хозяйством.

Массовое строительство в послевоенный период было обусловлено рядом задач, последовательно решаемых руководством СССР, и являвшихся объективной реальностью вхождения страны в высокоразвитое мировое индустриальное сообщество. Массовое строительство наиболее экономично в случае наиболее полной индустриализации всего строительного цикла. Поэтому в свое время в СССР процветал именно такой подход к строительству жилья. Основным стандартом вновь возводимого жилья стали многоэтажные дома массовых серий, реализующих крупноблочные и крупнопанельные инженерные решения.

Такие проекты технологически базировались на заводском изготовлении крупных строительных элементов (панелей, блоков) высокой степени готовности, с последующим монтажом на строительных объектах, предусматривающие минимизацию любых операций построечного исполнения. Максимум затрат приходилось непосредственно на заводской цикл, благодаря чему стала возможна наиболее полная механизация и автоматизация всех необходимых технологических переделов и операций.

Стремление к максимально возможной интенсификации производства вынуждало сужать номенклатуру базовых изделий, выпускаемых домостроительными комбинатами, до уровня обеспечения строго ограниченных типовых архитектурно-планировочных решений. За очень короткий промежуток времени множество городов было построено по типовым серийным проектам. Они подвергались лишь незначительным модификациям с учетом местных природно-климатических зон и сейсмических показателей.

Нормативы на жилые здания несколько раз изменялись в сторону роста площадей и улучшения планировки квартир. Соответственно, вводились в действие и новые серии типовых проектов – всего сменилось четыре их поколения:

- «сталинки» – постройки, созданные до 1956 г.;
- «хрущевки» – 1956–1965 гг.;
- «брежневки» – 1965–1981 гг.;
- современные проекты, – начиная с середины 80-х и по настоящее время.

Но всем этим проектам свойственны общие черты, унаследованные от индустриального подхода к строительству.

Смена типовых проектов изначально не предполагала изменения методологической основы массового строительства. Просто для домостроительных комбинатов заказывалось новое оборудование и формоснастка, служившая для изготовления новых типовых изделий для очередного серийного проекта. Каждый домостроительный комбинат выпускал дома одной определенной серии из типового проекта, принятого на тот момент, с незначительными модификациями по этажности.

Застройка полносборными домами индустриального изготовления также велась поточным методом крупными жилыми массивами. Выпускаемые конвейерным способом элементы домов столь же конвейерным способом монтировались в готовые строения – здание «под ключ» сдавали за 3 месяца. В итоге во множестве городов стали вырастать не только дома-близнецы, но и целые микрорайоны, возведенные «под копиру» – районы массовой застройки. Их одноликость стала даже элементом советского фольклора периода застоя – вспомните, с чего начинается традиционно-новогодняя комедия «Ирония судьбы, или с легким паром».

Индустриальный метод строительства возможен только при достаточно больших единичных мощностях домостроительных комбинатов – не менее 100 тыс. кв. метров вновь возводимого жилья в год. Отсюда стандартные архитектурно-планировочные и градообразующие решения застраиваемых территорий.

Инженерная инфраструктура таких территорий тоже была унифицирована и централизована – предусматривались крупные головные объекты (водозаборы, очистные сооружения, ГРЭС, трансформаторные и распределительные станции и т.д.) которые связывались с районами жилой застройки столь же крупными магистральными сетями, которые затем последовательно ветвились, подобно кровеносным сосудам, до уровня единичной квартиры.

Разумеется, что подобные поточные и внутренне технологически связанные строительно-технические и градостроительные системы нуждались в соблюдении ряда условий, без выполнения которых их существование было попросту невозможно.

Первое условие – это большая длительность подготовительного цикла, предшествовавшего началу строительства – не менее 3–4 лет. – Ведь требовалось полно и детально разработать техническую документацию на всю застраиваемую территорию без исключения, – начиная с сетей инженерной инфраструктуры и заканчивая проектом каждого из домов застраиваемой территории, – а их могло быть несколько сотен. Одновременно с разработкой документации нужно было возвести домостроительный комбинат, произвести инженерную подготовку территории и очистить ее от предшествующей застройки.

Второе условие заключалось в том, что поточный метод индустриального домостроения был возможен только на свободных территориях с заранее подготовленными инженерными сетями. Поэтому новые жилые районы в городах строились на периферийных землях.

Третье, и обязательное условие, – опережающие капитальные вложения в проектирование, создание инженерной инфраструктуры, строительство головных инженерных объектов и домостроительных комбинатов, подготовку площадок и запуск конвейера «комбинат – строительная площадка», обеспеченного всеми необходимыми строительными машинами, механизмами, материалами, комплектующими изделиями, рабочей силой. И все это требовалось осуществить задолго до заселения первого дома.

Когда весь этот сложный механизм заработает – строительство пойдет очень и очень быстро: за пару-тройку лет в степи поднимаются целые города. Но вынести бремя первоначальных затрат могут только мощные государственные структуры с соответствующим финансовым и техническим обеспечением, предусмотренным на уровне гос. бюджета. Большое и развитое государство с развитой экономической и финансовой базой способно было реализовывать идею индустриального строительства, – в СССР в свое время одновременно осуществлялись сотни подобных проектов. В «лебединой песне» советского индустриального строительства – «Жилищной программе» – ставилась задача предоставить каждой семье отдельную квартиру. И это было реально – для строительного комплекса, поддерживаемого ресурсами могучего Союза. Мало того, помимо внешне эффектной задачи, «Жилищная программа» предусматривала и дальнейшее развитие всей строительной отрасли в целом – развитие производства эффективных теплоизолирующих материалов (в первую очередь, ячеистых бетонов), дальнейшую химизацию бетонов, внедрение новых архитектурно-планировочных решений городской застройки, расширение малоэтажной городской застройки и многое другое. В столь же плановом порядке предполагалось, что, достигнув целей, поставленных «Жилищной программой», строительная индустрия будет переориентирована на реновацию ранее построенного жилого фонда, так как уже приближался период плановых капитальных работ. В столь же плановом порядке намечалось осуществлять капитальный ремонт и модернизацию головных объектов всей инженерной инфраструктуры городов, начиная с замены котлов на ТЭЦ и заканчивая санацией плотин водохранилищ.

Сложно сейчас обвинять кого-либо в чрезмерном удешевлении жилищного строительства, в малоразмерных квартирах, совмещенных туалетах, недолговечных инженерных системах и т.д. – тогда, после войны, страну нужно было переселять из землянок и коммунальных квартир в более-менее приемлемые жилища. И страна с этой задачей справилась успешно. И во многом именно благодаря внедрению индустриально-поточных методов строительства.

Такой подход к ведению массового строительства, позволивший в кратчайшие исторические сроки ввести в эксплуатацию более миллиарда квадратных метров жилищного фонда только в России, предопределил и чрезвычайно серьезный кризис, назревающий сейчас. Массовое жилье, повсеместно возводимое в послевоенный период, в настоящий момент практически исчерпало заложенный эксплуатационный ресурс и требует столь же массового капитального ремонта и реновации, стоимость которых соизмерима с их остаточной балансовой стоимостью. Но жилой фонд лишился поддержки мощной державы, а проблемы капитального ремонта остались нам в наследство от СССР! Мало того, каждый год отсрочки проведения планового капитального ремонта жилых зданий, построенных в послевоенный период, приводит к усугублению ситуации. И чем дальше отодвигаются сроки капитальных ремонтов, тем более ситуация становится неразрешимой и неуправляемой. И если в ближайшее время не будет принято никаких решений на уровне государственной политики, то наши дома очень скоро выйдут из строя.

Но помимо самих домов и квартир существуют еще и Упоминавшиеся выше сложные инженерные системы, призванные обеспечивать функционирование жилья – газ, электричество, отопление, канализация, связь, лифты. Ресурс их эксплуатации также в свое время был жестко привязан к ресурсу обслуживаемого ими жилья. И он тоже практически исчерпан. И если ремонт жилья мы можем отсрочить, то отложить реконструкцию инженерных систем – не в наших силах. Число аварий на городских коммуникациях за последние 10 лет выросло в 5 раз. Они пока еще способны кое-как обеспечивать текущие нужды, но вот пиковые нагрузки им уже не под силу. Зимой 2006 года несколько городов в Украине полностью лишились отопления. Небольшие города, с незначительным населением, но катастрофа получилась государственного уровня, с эвакуацией населения и привлечением всех государственных ресурсов для восстановления последствий. Немногим раньше многомиллионный город (Харьков) месяц справлял нужду «во дворе» – из-за сильного ливня вышла из строя общегородская канализационная система, чтобы откачивать нечистоты, самолетами НАТО! везли фекальные насосы со всего мира.

Таким образом, существующие сегодня жилые дома и городская инженерная инфраструктура сами по себе становятся объектами бесконечных чрезвычайных ситуаций с устойчивой тенденцией к их усугублению. С этой точки зрения целесообразно рассмотреть и проблему жилища как собственности или объекта накопления. Обычная ситуация: взрослые родители приватизировали в свое время квартиру в панельном доме массовой застройки, и считают ее своим достоянием, своим капиталом, который перейдет к их детям. На самом деле все не так. Срок жизни панельного дома массовой застройки весьма ограничен, и очень чувствителен к своевременности проведения капитального ремонта.

А ремонт дома никто не делает, и не собирается. Ремонт отдельно взятой квартиры на общем состоянии дома не сказывается совершенно. Дом ветшает, инженерные системы – тоже. Рыночная стоимость квартир в таком доме неуклонно падает. Строение постепенно превращается в трущобу вместе с окружающими его точно такими же домами, а весь микрорайон становится не престижным и неперспективным. Из него мигрируют более-менее имущие слои населения, а их место занимает люмпенизированные прослойки общества. Вслед за платежеспособным населением «уходят» и структуры соцкультбыта, место магазинов и кафе занимают рюмочные и секонд-хенды. Транспортники тоже начинают избегать такие микрорайоны, прокладывая свои маршруты мимо – кому выгодно возить льготников да пенсионеров? Стоимость коммунальных услуг растет и растет, в соответствии с ростом мировых цен на энергоносители. А их требуется все больше и больше, так как состояние наружных ограждающих конструкций дома, которые изначально не были рассчитаны на обеспечение экономии энергии, ухудшается с каждым годом. И эти процессы естественного старения постройки в силах остановить только капитальный ремонт, который на данном этапе уже просто невыгоден экономически. Получается замкнутый круг. Квартира начинает потреблять все больше средств на обеспечение параметров комфортности для проживающих людей, и в какой-то момент ее рыночная стоимость становится сопоставима с платой за отопление, воду, электричество, подаваемых с перебоями из-за непрекращающихся аварий. В результате оказывается, что родители передают своим детям не наследство, не объект капитализации своего труда, не домашний очаг, где семья всегда может найти себе пристанище, а скорее, его печальный символ. То есть, вместо наследства дети унаследуют головную боль – квартиру в разрушающемся доме, к тому же очень дорогую в эксплуатации для всех – для собственника, для местного сообщества, для государства. С этой точки зрения приватизация жилья несет скрытую до поры неоднозначность. Жилье людям при приватизации не подарили, – его попросту передали на собственное содержание. А без государственного финансирования такое содержание весьма неэкономично, «нерыночно», энергозатратно многоквартирных домов с централизованной инженерной инфраструктурой не по силам гражданам даже в случае их объединения в соответствующие сообщества и жилищные кооперативы.

Казалось бы, выход – покупка жилья во вновь возводимых зданиях. К моменту передачи его потомкам эти дома как раз будут в расцвете своего эксплуатационного ресурса. Все верно, кроме одного. Вновь возводимое жилье сейчас строится так называемым «точечным методом» – где есть свободное место в существующей жилой застройке, там и вырастает многоэтажная «элитка». Такие места обычно «находятся» на детских городках, спортивных площадках, парках и в зеленых зонах, которые присутствуют во всех микрорайонах массовой застройки.

Но степень элитности таких домов жильцы оценят весьма скоро, когда вместе со всем прилегающим микрорайоном будут сидеть без электричества, или воды, или замерзать зимой в результате непрекращающейся череды аварий. Ведь новое элитное жилье было возведено на древних инженерных сетях. С таким же успехом можно на старый запорожец прицепить мотор от мерседеса – ездить, конечно, будет, но недолго.

Нетрудно предположить, что в самое ближайшее время мы попадаем в хронологическую полосу длинную в несколько десятилетий, когда любые действия по отношению к большей части нашего жилого фонда будут малополезными и чрезвычайно затратными. В постперестроечный период нам удалось совокупными усилиями организовать на своей территории крупнейшую чрезвычайную градостроительную ситуацию, аналогов которой еще не знал мир.

И предвестники этой катастрофы уже громко кричат с передовиц газет, и телевизионный экран уже демонстрирует фильмы ужасов в прямом эфире. Пока рушатся только объекты, у которых в силу конструктивных особенностей большой запас прочности было сложно или очень дорого реализовать – крытые бассейны, рынки, стадионы и т.д. И это только начало.

В апреле 2006 года в Харькове прошла волна публикаций о неудовлетворительном состоянии некоторых крупных арочно-вантовых сооружений с т.н. «висячими» кровлями, эксплуатируемых в городе – цирк, киноконцертный зал, крытый рынок, плавательные бассейны, заводские цеха и т.д. Специалисты местного Промстройинипроекта бьют в набат – скоро Харьковский рынок рухнет по той же причине, что и Басманный в Москве, говорят они – от недостатка внимания.

Влагопоглощение слоя пенополистирольного утеплителя на кровле киноконцертного зала в отдельных местах увеличилось на 2000% по массе – и это никого не волнует. Ждут обрушения?

Уже валятся кровли в цехах. – Несколько лет назад рухнуло около 2000 м² кровли на харьковском «Электротяжмаше». Совсем недавно обвалился цех на Новокраматорском машиностроительном заводе – под завалами погибло 3 уникальных станка, самый дешевый стоил 15 млн. долларов.

По поводу же харьковского жилого фонда специалисты Промстройинипроекта (организации, которая как раз и призвана делать такого рода заключения) выносят однозначный вердикт – эксплуатационный ресурс полностью исчерпан, и дома держаться только на остатках запаса прочности, который закладывался при строительстве.

Осознавая всю серьезность обозначенных выше тенденций, очень многие начинают искать решение самостоятельно – тенденция к «бегству из городов» становится все более явной. (После того, как зимой 2006 года в результате аварии на теплотрассе вымерз весь украинский Алчевск, в окрестных деревнях резко подскочили цены на дома).

Можно предположить, что очень скоро, после череды громких аварий, подобных Алчевской, население до конца осознает всю глубину надвигающейся катастрофы в ЖКХ. После этого мощнейшие финансовые потоки, которые сейчас неоправданно взвинчивают цены на рынке первичного и вторичного жилья, потекут в сторону коттеджного домостроения.

В России сейчас процветает мнение о том, что индивидуальный дом – это квинтэссенция национальной идеи, способной не только изменить характер мироустройства в стране, но и выступить стержнем нового российского самосознания.

Не возьмусь обсуждать эту тему, тем более что она и так достаточно активно продвигается и пропагандируется в последнее время. И доводы ее поборников весьма убедительны. Отмечу одно: очень сложно возвести даже небольшой домик без умения строить. И совсем невозможно это сделать без строительных материалов.

Эта книга преследует одну очень маленькую, но очень важную задачу – учит изготавливать строительные материалы, – в частности, ячеистые бетоны.

ЧАСТЬ I

С. И. РУЖИНСКИЙ
ВСЕ
О ПЕНОБЕТОНЕ

ОТ АВТОРА

Я не знаю, как правильно позиционировать эту книгу. Ведь это не книга – скорее, медиапроект.

В течение всего времени работы над изданием каждая глава, раздел и абзац были подвержены постоянному, тщательному и придирчивому рецензированию, прошли предварительную натурную апробацию на публике. Сотни людей из Украины, России, Беларуси, Прибалтики, Казахстана, Молдовы, Германии, Венгрии, Польши, Греции, Аргентины, Канады, США, Перу, Швеции, Таджикистана и многих других принимали самое прямое и непосредственное участие в ее написании. И помог нам всем в этом Его Величество – Интернет.

Жаркие споры – до драки, увлекательнейшие дискуссии – не оторваться, россыпь ноу-хау и производственного опыта, широчайший обмен мнениями между производителями и потребителями строительных материалов, самой разной квалификации и специализации, от начинающих «самоделкиных» и до маститой профессуры – все это уже давно присутствует в мировой паутине. Очень небольшая часть из этой сокровищницы – у Вас в руках.

В качестве приложения к книге Вы получите совершенно необычный подарок – «Библиотека строителя» на CD дисках.

Значительная часть изданного на русском языке по прикладному и научному бетоноведению, начиная с 1902, все самое ценное, интересное и полезное было тщательно отобрано в научных библиотеках депонированного хранения, оцифровано и помещено в открытом доступе в Интернете. Отечественному бетоноведению есть чем гордиться, и есть чем поделиться со всем миром. Теперь, благодаря Интернету, это научное наследие стало общемировым достоянием. Более 3000 книг, статей и журналов объемом более 100 тысяч страниц теперь уже никогда не будут утеряны для потомков.

Эта библиотека – настоящий кладезь знаний по строительству и строительному материаловедению, – теперь доступна не только пользователям Интернета: – она продублирована и на CD-дисках.

Книга написана в несколько необычном стиле: академический слог сплошь и рядом перемежает разговорный язык. Не уверен, что именно так и нужно писать популяризаторскую техническую литературу, – прошу расценивать это как попытку, и не судить строго.

Выражаю огромную благодарность всем моим добровольным или невольным помощникам, помогавшим мне в работе. Особую благодарность хочу высказать своим жене, сыновьям и брату, которые принимают самое непосредственное участие не только в написании этой книги, но и во всем медиапроекте «Популярное бетоноведение».

И отдельные слова благодарности – Санкт-Петербургской фирме «Строй-Бетон». Без их участия, поддержки и феноменального долготерпения эта книга никогда бы так и не появилась.

Встретимся в Сети.

ryginski@aport.ru

www.allbeton.ru

www.ibeton.ru

С уважением,

*Сергей Ружинский,
Харьков, Городок.*

ВВЕДЕНИЕ

Время существования человека как вида оценивается примерно в 900 тысяч лет.

Если воспользоваться аналогией и принять эту величину за «сутки», то в таком исчислении реальные 10 лет будут соответствовать одной «секунде». В подобном исчислении возраст пирамиды Хеопса – всего лишь 8 «минут»; Христа распяли 3 «минуты» и 20 «секунд» тому назад; книгопечатание существует всего 55 «секунд» а персональные компьютеры – 2 «секунды».

Если соразмерить время существования технической цивилизации на планете (20 «секунд» от появления первого паровоза) со временем, понадобившимся на возникновение нефти (примерно 200 «суток») и угля (более 300 «суток»), то станет очевидным, что мы живем в момент гигантской вспышки топлива, немислимо долго накапливаемого природой. Эта вспышка, безрассудно инициированная человеком, продлится, в соответствии с последними исследованиями, еще приблизительно 30 лет или 3 «секунды». Затем должен наступить крах цивилизации базирующейся на углеводородных энергоресурсах. Страшно? – Жутко!

Может впереди маячит светлое термоядерное энергетически неисчерпаемое будущее? Так хочется себя хоть чем то утешить, но чего не успели сделать за предшествующие 50 лет, вряд ли успеют за оставшиеся 30, которые уйдут на эвакуацию технической цивилизации. Похоже, что успехи в области ядерной энергетики засекречены настолько, что они неведомы не только нам, но даже творцам этих достижений. Вероятнее всего, настоящая озабоченность ситуацией возникнет только в последний момент, как это не раз уже бывало, и тогда вообще будет не до исследований. Повторится история с «Титаником», но уже в мировом масштабе – не было бы паники, шлюпок хватило бы на всех.

Какое все это имеет отношение к строительной индустрии, спросите Вы.

– Самое прямое. Если сейчас начнем грамотно строить энергоэффективное жилье, через 20–30 лет, когда о дефиците энергоресурсов станут не говорить,

а кричать, наши дети с благодарностью будут вспоминать своих дальновидных родителей.

* * *

Каменный век закончился не потому, что закончились камни. Надвигающийся энергетический кризис не финиш, не конец, – а всего лишь веха в развитии человеческой цивилизации в ее технологической разновидности.

Ожидаемый дефицит энергоресурсов стимулирует развитие новых отраслей знаний, которые выведут цивилизацию на следующий этап развития. Но на все это потребуется значительное время. Пока же, в переходный период следует ожидать значительного повышения ценности и стоимости энергоресурсов, а следовательно – научиться ими рачительно распоряжаться.

Западные страны более подготовлены в плане экономии энергоресурсов – с их дефицитом они столкнулись еще в 70-х годах и с тех пор неуклонно проводят линию на уровне государственных политик отдельно взятых стран по экономному отношению к невосполнимым углеводородным ресурсам.

На постсоветском пространстве донедавна в этом плане существовала совершенно обратная ситуация, корни которой в том, что у нас энергоресурсы очень дешевы. Так было в бытность СССР – и это можно было тогда понять. Но такое положение дел сохранилось и поныне! (Хотя я сам и украинец, но мне, например, очень сложно понять почему в той-же Украине цена на газ для населения ниже чем в России. Особенно если учесть, что три четверти этого газа экспортируется.)

Так как в бывшем СССР были очень дешевыми энергоресурсы то их особенно то и не экономили. Разумеется такой подход распространялся и на все сферы промышленности, в т.ч. и на жилищное строительство. Это только сейчас, абсолютно безграмотные апологеты всего западного, могут попенять, что, мол, в СССР не умели и не знали как строить. Еще как умели и еще как знали! Смее Вас заверить. И очень грамотно умели считать каждую копейку. И такие, действительно грамотные и профессионально сделанные расчеты показывали что при таком существовавшем на тот момент в СССР уровне цен на энергоносители, строить теплосберегающее, энергоэффективное жилье – экономически нецелесообразно! – Ведь производство эффективных строительных теплоизоляторов тоже весьма затратно. При очень дешевых энергоресурсах экономически более выгодным оказывалось именно греть улицу, чем замуровывать деньги в стену. – Очень глубокий смысл в девизе «Экономика должна быть экономной», согласно которому развивалась тогда страна.

Скажите Госплан СССР был настолько недальновиден, что не смог предусмотреть общемировой подъем цен на энергоресурсы?

Да полно Вам. Тогда в правительстве сидели профессионалы и аналитики – не чета нынешним. Все было предусмотрено до мельчайших деталей. Причем за-

думано все было очень и очень грамотно, с действительной государственной выгодой в форме поэтапного ужесточения теплотехнического нормативного законодательства. Именно на законодательном уровне ставились очередные рубежи, к которым потом последовательно подтягивалось промышленное производство.

Каждый нормативный этап «шел вслед» за прогнозируемыми общемировыми энергетическими тенденциями и был приурочен к плановой замене выбывающего из строя по причине износа жилья. Каждый этап был достаточно длительным – чтобы строительная индустрия в масштабах всей страны имела возможность перейти на новые, более энергоэкономные строительные материалы.

Перестройка и последовавший за ней полный развал страны все эти планы разрушили. «Открыли границы» – и внутренние цены на энергоносители очень быстро (не так как планировали) стали догонять общемировые. Экономить на отоплении теперь уже стало выгодно, но строительная индустрия лишилась временной форы – рынок требовал эффективных строительных теплоизоляторов сейчас и сразу, а промышленность попросту не могла их дать.

Мало того, «временное ужатие» поэтапного ужесточения теплотехнического нормативного законодательства (вместо нескольких десятков лет – по сути 4 года) поставило проектировщиков перед фактом – строить стало возможно только из высокоэффективных теплоизоляторов, выпуск которых отечественная промышленность еще просто не успела наладить.

Разумеется нынешняя государственная политика направлена на устранение такого несоответствия желаемого и действительного – форсированно развиваются соответствующие направления строительной индустрии и в первую очередь по производству ячеистых и легких бетонов. Но на это требуется время, а рынок требует – «дай сейчас».

Рыночный дефицит восполнили зарубежные производители – ведь из-за дороговизны энергоресурсов с проблемой энергоэффективности они столкнулись гораздо раньше, и соответственно производство таких материалов у них было развито гораздо лучше нашего. На постсоветский рынок хлынули эффективные теплоизоляторы произведенные за рубежом или по зарубежным технологиям – в первую очередь пенополистирольные и минералловатные теплоизоляторы.

Одновременно с этим отечественная строительная наука забила тревогу. Общий мотив выступлений множества ответственных отечественных ученых не растерявших профессиональной ответственности заключается в том, что из-за особенностей отечественных погодно-климатических условий множество прекрасных и эффективных западных материалов и технологий у нас просто неприменимы. – У нас климат иной, соответственно и условия эксплуатации строительных материалов другие. Если бы Египетские пирамиды были бы построены на Среднерусской равнине, то к сегодняшнему дню от них вряд ли чего

осталось – вода, ветер и, главное, – мороз за очень короткий промежуток времени способны превратить в гору щебня даже гранит.

* * *

Очень многие люди считают, что российский климат хоть и суровый, но сопоставим с погодой в Скандинавских странах, или в Канаде, или на Аляске. Сообразно этому, мысль использовать строительные технологии из этих мест не кажется им абсурдной. Но знаете ли Вы, что:

- ... в Лондоне растет бамбук...
- ... в Норвегии уже в мае собирают клубнику ...
- ... США географически находится южнее Кубани, а Нью-Йорк – на широте Сочи...
- ... на широте Москвы в Канаде расположены только поселки с «говорящими» названиями, вроде Ураниум-Сити или Радий-Порт...
- ... в Норвегии везде в домах стоят одинарные рамы, а если двойные – это уже роскошь...
- ... в Лондоне никогда в истории не было мороза крепче -10 градусов...
- ... в столице Аляске – г. Джуно, зимой теплее чем в Москве...

На такие «мелочи» обычно не обращают внимание, пока специально не укажешь. Но европейский мягкий климат, обусловленный теплым Гольфстримом, накладывает самое непосредственное влияние не только на экономику западных стран, но и на методы строительства, а также на выбор строительных материалов.

Весьма занимательны передачи по «Дискавери» – есть там постоянная, посвященная коттеджному домостроению, – показывают весь цикл строительства, начиная с рытья котлована и до заселения. Строят, например, в Англии. Голос за кадром вещает, что сегодня, на момент съемки, – середина января, поэтому очень холодно. Но на экране я вижу рабочих в пластмассовых касках без подшлемников, в каких-то легкомысленных легких курточках, при разговоре у них не идет пар изо рта, экскаватор легко и просто копает траншею, а проезжающие машины разбрызгивают воду из луж. Да что там Дискавери, посмотрите просто любую новостийную телепрограмму зимой. Вы когда нибудь видели, жителя западного города в шапке?

Из всего этого можно сделать вывод, что в понятие «очень холодно» у нас и на Западе вкладывается совершенно разный смысл. С учетом этого следует весьма критично и взвешенно оценивать и все западные строительные рекомендации – «что немцу во благо, то русскому – смерть». А поэтому строительство в России следует обязательно вести с оглядкой на действительную суровость нашего климата, но в первую очередь осознавать, что в отечественных погодноклиматических условиях принципиально невозможно достичь уровня энерго-

эффективности наших жилищ, достижимых на Западе. Такова расплата за то, что мы не родились на Лазурном Берегу.

* * *

В последнее время благодаря средствам массовой информации в обществе все больше укореняется уверенность, что энергоемкость экономик постсоветских стран катастрофично отстает от западных. Утверждается, например, что Украина, как типичнейший образчик постсоветской организации экономики, на один доллар ВВП тратит в 5 раз больше электроэнергии, чем Польша, и в 22 раза больше – чем Германия. Однако для верной и корректно сравнимой оценки результатов следует не только перевести цифры национального ВВП в доллары, но и откорректировать полученные цифры с учетом покупательной способности – как это делается во всех солидных экономических исследованиях на Западе. В таком случае получается, что у Украины на 1 кВт/час потребляемой энергии приходится 1,7–2,3 доллара ВВП, а в Польше – 3,9 и в Германии – 4,5. Таким образом разрыв, да есть, но не такой гигантский, как показывают СМИ.

А в сравнении же с Канадой и скандинавскими странами та же Украина не проигрывает, так как у Канады – 2,1 доллара ВВП на 1 кВт/час, Финляндии – 1,9, Швеции – 1,8, Норвегии – 1,7. Эти цифры показывают, что энергоемкость экономики в большой мере зависит от климата. Именно по этим же причинам страны 3-го мира являются менее энергоемкими, чем Германия (Индия – 6,5 долларов ВВП на кВт/час, Филиппины – 9,3 и т.д.).

Поскольку в Украине зимы более холодные, даже чем в Норвегии и Швеции, (не говоря уже о Центральной и Южной Европе), то логично, что и энергоемкость экономики будет больше – так зимой среднемесячное производство электроэнергии в Украине на 15% больше, чем в среднем по остальным месяцам.

* * *

Большинство постсоветских стран в последнее время всерьез озабочены вопросами повышения энергоэффективности своих экономик – углеводородные топливные ресурсы дорожают. И если Западные страны уже давно и очень плодотворно работают в этом направлении, то на постсоветском пространстве, до недавня, политические мотивы в диалоге между потребителями и производителями энергоресурсов довели над прагматическими. Долго так продолжаться, разумеется, не могло, т.к. в связи с развалом СССР очень быстро исчезли и барьеры на пути экспорта энергоресурсов, и в первую очередь нефти и газа. Внутренние цены на энергоресурсы стали стремительно догонять общемировые, хотя национальные экономики и не способны пока еще «принять» такое подорожание.

Перевод национальных экономик постсоветских стран на «энергоэффективные рельсы» осуществляется в настоящий момент в условиях хронического, экономического, и очень часто – политического цейтнота. Поэтому нам не следует слепо и бездумно копировать западный опыт в этом вопросе – они свои энергосберегающие мероприятия реализовывали несколько десятков лет. У нас просто нет столько времени.

Одним из примеров такого рода ошибки, которая по мнению большого количества ученых способна существенно подорвать отечественный потенциал индустрии строительных материалов являются мероприятия по принятию нового теплотехнического законодательства для жилищного строительства.

Уже скоро 10 лет не утихают дискуссии о целесообразности столь кардинального ужесточения теплотехнических норм и увеличения приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, к примеру, в среднем в три раза. Затянувшаяся дискуссия без соответствующей на то реакции со стороны властных структур несет в себе определенный негатив, поскольку в такой ситуации специалисты в области строительных материалов и конструкций абсолютно не заинтересованы в разработке и внедрении новых эффективных, долговечных теплоизоляционных материалов и самих конструкций с учетом накопленного отечественного и зарубежного опыта. Если руководствоваться этими новыми нормами, то при любом раскладе в отечественных погодноклиматических условиях все равно никак не обойтись без минералловатных и пенополистирольных утеплителей, эксплуатационная долговечность, и сохранность теплофизических характеристик которых остаются под большим вопросом. Особенно, опять же, в наших погодноклиматических условиях.

Помимо удорожания строительства и большой спорности в вопросах действительной экономии и эксплуатационной долговечности, чрезмерное утепление наших жилищ, заложенное в новом отечественном теплотехническом законодательстве, эффективно не поддерживается экономическими и правовыми механизмами, которые бы стимулировали энергосбережение как потребителями, так и производителями тепловой энергии. Т.е. экономить энергию уже заставляют, но кому от этого будет польза – еще не объяснили.

Если с математической точки зрения описывать теплотехническую модель здания, то ее можно разбить на 3 основных и взаимосвязанных более мелких моделей, а именно:

- модель теплоэнергетического воздействия наружного климата на здание;
- модель теплоаккумуляционных характеристик оболочки здания;
- модель теплоэнергетического баланса здания.

И если задаться целью оптимизации теплотехнической модели всего здания, как объекта энергоэффективной оптимизации, то не сложно прийти к за-

ключению, что три указанные выше подмодели должны быть так оптимизированы друг под друга, чтобы общая целевая функция отражала минимум расхода энергии на обеспечение микроклимата в помещении.

Математически это обеспечивается поиском минимума системы уравнений описывающих вот те три модели, что в расчетном механизме достигается методом последовательных итераций. Такую мат. модель, собственно и отражает Свод Правил по теплотехнической защите – базовая расчетная методика теплотехнического проектирования.

Тема энергоэффективного жилья стала очень модной в последнее время. Стремительное удорожание энергоресурсов инициирует и экономное отношение к ним. На волне всеобщего интереса к проблемам энергоэффективности, множатся публикации, в которых проблемам энергоэффективного строительства уделяется повышенное внимание.

Иногда по незнанию, чаще – спекулятивно, с учетом коммерческого интереса тех или иных производителей, в массы непрофессиональных в теплофизике людей внедряется мысль, что для ограждающих конструкций наилучшими являются эффективные теплоизоляторы типа минеральной ваты и пенополистирола. И действительно, если оперировать исключительно понятиями термического сопротивления, то сравнивать материалы между собой имеет смысл только исходя из их плотности – чем менее плотный материал, тем он лучше сохраняет тепло. Но совершенно ошибочно из этой теплофизической аксиомы делать вывод, что хорошо теплоизолированная стена автоматически обеспечит энергоэффективность и всего здания.

Энергию нужно экономить экономно. И в этом плане следует обязательно учитывать суммарную структуру теплопотерь здания, согласно которой через стены уходит всего лишь, примерно, от 15 до 30 процентов тепла. Остальное тепло теряется через окна, пол, потолок, и самая большая часть – с вентилируемым воздухом.

Недобросовестная реклама внедряет в умы потребителей, и в первую очередь индивидуальных застройщиков, не располагающих профессиональными знаниями по строительной теплофизике, что затратив, скажем, вдвое больше денег и построив стены с вдвое улучшенными теплоизолирующими характеристиками, тем самым, априори, и теплопотери здания уменьшатся вдвое. Соответственно и затраты на его отопление также уменьшатся вдвое, что позволит очень быстро окупить вложения на дополнительную теплоизоляцию.

Между тем это совершенно не так. – Вдвое уменьшив теплопотери через стены, мы вдвое уменьшим лишь только долю приходящихся на них теплопотерь, т.е. в суммарном исчислении, в пересчете на суммарные теплопотери всего здания, экономия составит 7–15% – именно на такую величину экономии затрат на отопление и следует рассчитывать.

Разумеется, для каждого конкретного случая приведенные выше прикидочные цифры будут свои. Но общие тенденции, которые обозначены в результате математического моделирования энергобаланса всего здания, убедительно показывают, что минимум энергии на обеспечение микроклимата в помещениях для районов с жарким климатом обеспечивают конструкции с меньшими значениями теплопроводности материалов (т.е. менее плотные), а для районов с холодным климатом – с большими значениями коэффициентов теплоусвоения материалов (т.е. более плотных).

А в вопросах энергоэффективности нам бессмысленно гнаться за Западными достижениями, уже по одной причине – у нас гораздо холодней. За все нужно платить, за холодный климат – тоже.

* * *

Российская строительная наука очень и очень внимательно наблюдает за решением проблем энергоэффективного строительства в Прибалтийских странах – в силу ряда обстоятельств они идут первыми. И им же уготована участь «первыми наступить на грабли» – хочется им того или нет.

Так с 2006 г. Латвии, например, придется полностью выполнять Директиву Европейского союза 2002/91/ЕК, в которой оговорены чрезвычайно жесткие требования по энергосбережению, в то время как существующая в настоящий момент эффективность ее отопительных систем в три раза ниже, чем это предусмотрено в странах ЕС. Если учесть, что общая отапливаемая площадь на одного жителя в Латвии в 2–3 раза меньше, чем в Европе, реальный технологический разрыв становится еще значительней.

С другой стороны Латвия, еще в 1998 г. присоединилась к Киотскому протоколу тем самым взяв на себя обязательства в период до 2012 гг. уменьшить вредные выбросы в атмосферу на 8% по отношению к 1990 г. Такое требование равносильно закрытию части имеющихся устаревших теплогенерирующих мощностей, т.к. модернизировать их они попросту не успевают.

Латвийский строительный норматив LBN-002-01 «Теплотехника ограждающих конструкций зданий», введенный в действие с 01.01.03 года практически полностью копирует соответствующие нормы скандинавских стран, которые шли к этому очень жесткому теплотехническому законодательству десятилетия. До внедрения этого норматива латвийские проектировщики имели свободу маневра между желаемым и достаточным. Сейчас же они «перепрыгнув» через года поставлены в очень жесткие условия – в угоду Директиве Евросоюза 2002/91/ЕК нужно срочно утеплять уже существующий жилищный фонд, доставшийся в наследство от СССР. Подобные мероприятия просто физически невозможно выполнить без использования наружных теплоизолирующих накладных слоев – пенополистирольных или минералловатных. И именно этот

факт формирует временный перекося рынка в пользу именно этих материалов в Латвии и других прибалтийских странах. А это, в свою очередь, обуславливает и степень популярности и распространенности данных материалов во вновь возводимом жилье.

Между тем прибалтийский опыт убедительно свидетельствует, что утепление стен зданий при помощи эффективных теплоизоляторов типа пенополистирола или минеральной ваты, позволяя экономить только незначительную часть тепловой энергии, привносит с собой и ряд очень серьезных проблем. И в первую очередь связанных с обеспечением долговечности зданий.

Исследования проведенные в последнее время в ряде стран, и в первую очередь в России и Беларуси, весьма убедительно свидетельствуют, что реально подтвержденная долговечность пенополистирольных и минераловатных утеплителей в отечественных погодных-климатических условиях существенно ниже, чем декларируется их производителями. Так для беспрессового пенополистирола типа ПСБ-С реальная долговечность оказалась от 13 до 47 лет (в зависимости от производителя) а не «...более 150 лет...» как пишут в рекламных буклетах.

* * *

Прекрасно понимая, что альтернативы энергоэффективному жилью нет, но осознавая всю глубину проблем связанных с применением в составе ограждающих конструкций материалов со столь низкой долговечностью как у минеральной ваты и пенополистирола, отечественные строители по новому взглянули на прошлый советский опыт – на легкие и ячеистые бетоны. Их теплоизолирующие характеристики таковы, что в свете новых теплотехнических нормативов стены нужно делать толще. Но по совокупности остальных характеристик, и в первую очередь в плане экономической эффективности – им нет равных.

В свое время СССР был действительно «впереди планеты всей» в производстве легких и ячеистых бетонов. Значительная часть жилого фонда страны была как раз из этих материалов и построена. Из керамзитобетона и газобетона выстроены целые города.

Длительный, более чем полувековой опыт натурной эксплуатации этих материалов в самых суровых условиях эксплуатации от Камчатки и до Калининграда, от Ташкента и до Архангельска показал, что это недорогие в производстве и долговечные материалы. Мало того, – строительная наука не стоит на месте. За последние годы были разработаны новые модификации легких и ячеистых бетонов, со значительно улучшенными теплофизическими характеристиками. И в первую очередь это касается одной из разновидностей ячеистых бетонов – газосиликатов.

По совокупности потребительских и эксплуатационных характеристик автоклавные газосиликаты – действительно самое лучшее решение стратегического плана для строительства энергоэффективного жилья, но... – если есть несколько «лишних» миллионов долларов – уж слишком дорогое оборудование требуется – огромные автоклавы, мельницы, мощные паросиловые котельные. И хотя после запуска такого газосиликатного завода он будет выпускать продукцию на 60–80 % состоящую из песка, первоначальные вложения очень велики – комплектный завод стоит от 5 млн. долларов.

Такие огромные первоначальные затраты и высокую капиталоемкость оборудования производственных мощностей по выпуску автоклавных газосиликатов сможет окупить только стабильный, большой и круглогодичный сбыт готовой продукции. По этой причине заводы по выпуску автоклавных газосиликатов тяготеют к крупным промышленным центрам и мегаполисам. Из-за того, что это легкий, но объемный материал, доставка газосиликатов в глубинку существенно поднимает их стоимость.

Российские условия существенно отличны от общемировых. С одной стороны суровость климата вынуждает применять в строительстве эффективные теплоизоляторы. С другой стороны в таком климате могут длительно эксплуатироваться не все из них. Оптимальное решение в этом плане – автоклавные газосиликаты, – тоже становятся не всегда выгодно использовать – уж слишком протяженны расстояния в России, – транспортные расходы нивелируют большинство преимуществ газосиликатов.

Решение было предложено еще в начале прошлого века – изготавливать ячеистые бетоны по безавтоклавной технологии. Действительно, цемент дороже сырья для изготовления газосиликатов – известково-песчаной смеси. Но твердение цемента не требует обязательной дорогой и ресурсоемкой автоклавной обработки. Поэтому производство ячеистых бетонов из цемента можно разместить в любом месте, хоть в сарае, лишь бы поближе к потребителю.

* * *

Нормативное ужесточение требований к термическому сопротивлению ограждающих конструкций породило ренесанс ячеистых бетонов. И пока неповоротливая государственная машина реанимировала старые, еще советские газосиликатные заводы и строила новые – на местах развернулась бурная деятельность. Действительно – чего проще приготовить пену и смешать ее с цементным раствором – так получают пенобетон.

Как грибы стали плодиться заводы, заводики, цеха и просто шарашки-однодневки по выпуску пенобетона. Всеобщий ажиотаж подогревала еще и сравнительно низкая цена на оборудование, которое к тому же возможно было изготовить в каждой колхозной мастерской.

И уж верхом маркетинговых достижений отечественного кроя стали всевозможные рекомендации как быстро разбогатеть на пенобетоне – падок наш человек на дармовщинку (по себе знаю).

Как устоять перед красивым буклетом, в котором предлагается за очень недорого купить комплект оборудования по производству пенобетона и самому, в собственном сарае наладить производство столь нужного материала. Вчерашние врачи, инженеры, учителя, продавцы в очередь выстроились за оборудованием, – всем не терпелось быстро и без особых хлопот «подняться». Складывается впечатление, что пенобетон сейчас не делает только ленивый.

Прозрение наступало быстро. Пару месяцев достаточно, чтобы начинающий пенобетонщик познал не только азы бизнеса и строительного материаловедения, но и осознал, что ДА – производство пенобетона достаточно выгодный и стабильный бизнес, но не дармовщина, – «легких денег» здесь нет.

Вот история одного такого начинающего пенобетонщика (с Форума *www.allbeton.ru* – стилистика и орфография – оригинала)

1. Денег нет. Жена пилит. Торговать на базаре – в лом. От знакомого услышал – пенобетон это Клондайк.
2. Загорелся. Занял под проценты – все равно мизер. Не хватает.
3. Узнал, что оборудование можно сделать самому. Копейки выходит. Жизнь прекрасна.
4. Все «академики» – [лакуна – С.Р.] – сами с усами.
5. Потратил все деньги, но сколампацал комплект оборудования. Как все просто!!!
6. Пена валит – хоть брейся. Перемешал с цементом. Получилась какая-то ноздреватая [лакуна – С.Р.]. Ура!!!! – я научился делать пенобетон.
7. «Академики» дураки по определению – горшки не боги обжигают. Похвастался жене. Пообещал новые сапоги.
8. Продал первую машину пенобетона какому-то колхознику. Отметили. Славно было.
9. Продал энную партию пенобетона. Посчитал прибыль. Не густо.
10. Занялся маркетингом. – Блин. Да этого пенобетона на рынке, как [лакуна – С.Р.]
11. Начал искать крупного заказчика. Дал взятку. Выиграл тендер.
12. Муниципальное жилье. Первый раз узнал про архитектурный контроль. Понес свой пенобетон в лабораторию.
13. Получил заключение лаборатории. С горя напился. Жизнь – дерьмо.
14. «Сдал» тендер. Получил по ушам. Прорвемся.
15. Нужно что то делать!!! Денег нет – все в сырье и оборудовании.
16. Решил не лезть на «крупняк». Буду работать на колхозников.
17. Приходили кредиторы. Показал цех. Поверили. Отсрочили.
18. Впервые услышал про рентабельность. Посчитал свою. Пил три дня.
19. Взял у знакомого книжку про бетон. Ни черта не понял. – Как жаль, что я прогуливал уроки.
20. Налил в смеситель соляной кислоты и еще какой то фигни. Сальники потекли, пенобетон получился – [лакуна – С.Р.]. Академики – [лакуна – С.Р.].

21. Похолодало. Частник зашнырился. Сбыта нет. Работяги кусятся без зарплаты. Жена плачет. Теща – ну мы и так с ней на ножах.
22. Опять приходили кредиторы. Кричали. Смотрели мою Ниву. Нужно что-то делать.
23. Смотрел как строят многоэтажку. – Из шкуры вылезу, но зацеплюсь за «крупняк» – это сбыт круглый год.
24. Нанялся рабочим к конкуренту. Оборудование все фабричное. В замес сыпят много всякой фигни. Пробовал разузнать поподробней – еле ноги унес...
25. Поехал в один институт, посоветоваться. Заломили немерянно. Сказали если денег нет – пошел на... Короче послали в библиотеку.
26. Сунулся в библиотеку – облом. Одна фантастика и детективы.
27. Вспомнил, что директор у конкурентов все время по Интернету шарился. Полез, нашел кучу инфы.
28. Два месяца читал. По отдельности понятно, – все вместе – поубивал бы этих умников.
29. Из того что понял начал экспериментировать. Точно мочалка в пеногенераторе это фигня, – нужно туда еще одну фичу воткнуть.
30. Внимательно пересчитал еще раз свой бизнес-план, уже с пониманием и опытом. От [лакуна – С. Р.]!!!! – ну почему никто мне сразу не сказал, что самое узкое место в этом самом вставании, в кинетике, блин, этой долбанной, набора, от [лакуна – С. Р.]!!!, прочности. Я тут мочала в пеногенераторе меняю, [лакуна – С. Р.] весь, а нужно, было, оказывается, совсем другое...

* * *

В ходе освоения технологического регламента производства пенобетона возникает очень много вопросов как технико-технологического плана, так и чисто организационного. На многие из них уже давно были даны ответы, но все они рассыпаны в множестве литературных источников. Возникла идея собрать всю необходимую информацию в одном месте – так родилась идея этой книги.

Кроме того анализ накопленной технической информации и отечественного опыта производства пенобетона высветил и ряд его негативных сторон. А именно – капризность технологии, очень сильную ее зависимость от качества исходных ингредиентов, и в первую очередь – цемента.

Совсем недавно цемент резко подорожал. С одной стороны для строительной индустрии это было давно ожидаемое событие – во всем мире цемент донедавна был дороже чем в России. Но с другой стороны подорожание вызвало шок.

Между тем, следует признать, что подорожание цемента инициирует и более бережное и рачительное отношение к нему. В связи с этим на строительном рынке грядут серьезные структурные, технические и технологические изменения.

Возникнут экономически обоснованные мотивации к совершенствованию всех технологических переделов связанных с производством всех видов бетонов. И в первую очередь, бетонщики обратятся к проблематикам: заполнителей, химических модификаторов и местных вяжущих.

Цемент подорожал в связи с подорожанием газа. По всем оценкам цементников «газовая составляющая» в себестоимости цемента – до 40%. Соответственно подорожание газа вдвое должно, теоретически, «поднять» себестоимость цемента примерно вполтину, или даже более того, если учитывать и всю остальную цепочку которую потянет такое подорожание. Но в зависимости от вида выпускаемого цемента, Цем. комбинаты тратят на его производство разное количество газа. Для производства 1 т бездобавочного ПЦ500 требуется примерно 270 м³ газа. В то же время на шлакопортландцемент ШПЦ300 – всего 150 м³ газа

Структура потребностей строительной индустрии в строительных бетонах и растворах примерно следующая:

строительные растворы М25–М75 а также бетоны до В10 включительно – 24 %

бетоны В15–В20 – 43 %

бетоны В25–В30 – 22 %

бетоны В40, F200 и выше – 2 %

дорожные бетоны В30–В40, F150–F300 – 9 %

Из-за сравнительной дешевизны цемента строительная индустрия в настоящий момент допускает использование высококачественных и высокомарочных цементах даже для производства строительных растворов.

С технической точки зрения применять ПЦ400 (а то и ПЦ500) для строительного раствора марки М25 – верх глупости. Но с экономической точки зрения – это вполне допустимо. Было.

Подорожание цемента должно все расставить по своим местам и низкомарочные цементы, а также шлакопортландцементы и местные низкомарочные вяжущие будут востребованы экономическими рычагами примерно для 50% а то и больше конструктивно-технических приложений.

Из всего вышесказанного можно предположить, что помимо подорожания цемента произойдет и очень серьезная структурная перестройка номенклатуры выпускаемых цементах – основную долю составят низкомарочные вяжущие (как и во всем мире, кстати!). А вот высокомарочных цементах будет выпускаться гораздо меньше чем сейчас, что обусловит его дефицит и еще более сильное подорожание, которое будет уже обуславливаться не только ценой на энергоносители, но и конъюнктурой рынка.

И первый удар такой структурной перестройки примут на себя потребители высококачественных цементах, в т.ч. и пенобетонщики, т.к. качественный пенобетон можно делать только из высокомарочного быстротвердеющего цемента.

Можно предположить, что те из пенобетонщиков кто в самое ближайшее время не предпримет определенных упреждающих мер, в связи с намечающим-

ся дефицитом высококачественных цементов вынуждены будут покинуть рынок ячеистых бетонов.

* * *

Одним из возможных решений может стать смена технологического регламента производства неавтоклавного ячеистого бетона – переход от пенного способа поризации к газовому.

Не следует упрощенно понимать, что переход на газовый способ поризации позволит существенно сократить капитализацию производственного процесса. Если оценивать с точки зрения оборудования, то да действительно упрощение (и удешевление) одного передела неизменно повлечет усложнение (и удорожание) другого.

В данном случае отказ от пенного способа поризации в пользу газового или газопенного, помимо избавления от капризной пены и столь же капризного пеногенерирующего и узкоспециализированного смесительного оборудования, вынудит, например, уделить больше внимания формоснастке и вибропобудителям (если вибровспучивание).

И если оценивать ситуацию исключительно с такой точки зрения, то у неавтоклавного газобетона нет кардинальных и революционных преимуществ по отношению к пенобетонам кроме того, что в технологическом регламенте задействовано серийное оборудование взамен специализированного. (Хотя уже один это факт побуждает нынешних производителей пенобетонного оборудования уходить в глухую оппозицию).

Подход именно с таких технократических позиций, считаю, ошибочен, т.к. изготовление ячеистых бетонов не есть самоцель. Пенобетон – это объект продаж, это товар, механизм получения прибыли, если хотите. А раз так, то и его потребительские качества как товара должны строго соответствовать нормативно регламентируемым. И чем больше получаемые характеристики товара отличаются от нормативных, тем менее конкурентоспособным получается такой товар, соответственно минимизируется рентабельность его производства.

И обратите внимание – при таком взгляде на пенобетон, как товар, рентабельность его производства уменьшается как в случае недостижения, так и в случае превышения!!! нормативных показателей – вот что записано в ГОСТе – вот такие характеристики и нужно обеспечить. Не хуже, но и не лучше.

Можно сделать (и делают!) очень прекрасный ПЕНОбетон с большим запасом перекрывающий нормативы. И аргументация, что, дескать, у толкового производителя нет особых проблем с его производством – трижды верна. Но с другой стороны существует множество примеров, когда параметры выпускаемой продукции даже близко не приближаются к требованиям ГОСТа.

И если такие проблемы обеспечения нормативных требований для неквалифицированных пользователей технологии – явление хроническое (во всяком случае на начальном этапе освоения технологии), то и достаточно квалифицированные и просвещенные в бетоне пользователи и в производстве пенобетона, в частности, пользователи перманентно тоже с ними сталкиваются. И чем больше объемы производства (что, напрямую коррелирует с уровнем квалификации производителя) тем сильнее коммерческие мотивы в принятии тех или иных технологических решений.

Подобная коммерциализация подходов к выбору технологического регламента производства диктует потребность его высокой устойчивости в отношении целого набора случайных факторов. Но технология производства пенобетона как раз и не отвечает этим критериям устойчивости (в отечественных реалиях иногда еще и дуракоустойчивости). И корни этого сокрыты в самом технологическом регламенте, который не разделяет отдельные составляющие тех. процесса, а допускает их взаимное и плохо контролируемое влияние друг на друга, вплоть до образования симбиотов, воздействующих друг на друга через самоорганизующиеся обратные связи.

С одной стороны мы заинтересованы в интенсификации гидратационных процессов в цементе на их ранней стадии для ускорения оборачиваемости формоснастки. С другой стороны, специально, привносим в цементную систему высокоэффективный замедлитель схватывания и твердения – пенообразователь.

С одной стороны мы пытаемся унаследовать от пены организацию порового пространства и геометрические параметры единичных пор. С другой – умышленно разрушаем и дезорганизуем пеноцементную смесь в процессе ее вымешивания.

Применяя тонкодисперсные минеральные добавки с ярко выраженными гидравлическими свойствами с одной стороны экономим вяжущее, с другой же – в такой способ провоцируем его перерасход из-за потери устойчивости пеноцементной смеси.

Пластификаторы-водопонизители, способные уменьшить отпускную влажность и существенно повысить прочность низкоплотных пенобетонов, в контакте с пеномассой выступают в качестве пеногасителей, что равносильно повышению плотности пенобетона, т.е можно получить обратный эффект.

Большинство электролитов (ускорители схватывания и твердения) тоже весьма неблагоприятно влияют на стабильность пеноцементной смеси. Для ее нормализации требуются повышенные дозировки пенообразователя – замедлителя. Для нейтрализации которого, в свою очередь, требуются повышенные дозировки ускорителя. – Замкнутый круг.

Снижение В/Ц – основополагающий постулат бетоневедения в плане получения прочного цементного камня, начиная с определенного этапа имеет

в пенобетонах прямо противоположный эффект, опять же во многом обусловленный именно наличием пены.

Из всего вышеперечисленного следует, что гидратационные процессы в цементном камне во многом антагонистичны процессам его поризации при помощи пены. А соответственно поризацию и формирование прочности нужно попытаться или разнести во времени (и тогда мы получаем т.н. «легкий бетон»), или разнести в пространстве (ячеистые бетоны с выгорающими добавками) или исключить влияние акта поризации на процессы твердения вообще. Последний случай легче всего исполнить в форме не пенной, а газовой поризации.

Если оба этих процесса (поризация и твердение) не влияют друг на друга, то становится возможным их модифицирование не совместно, а по отдельности. В этом случае нам становятся доступны практически все способы химического и механохимического модифицирования цементного камня накопленные прикладным бетоноведением. Кроме того становится возможным более гибкое и простое в управлении формирование ячеистой структуры при помощи мероприятий не антагонистичных гидратационным процессам – щелочность, температура, вибрация, дисперсность газообразователя и т. д.

По способу газовой поризации уже давно производят ячеистый бетон – газосиликат. В нем вяжущим выступает смесь извести и кремнеземистого компонента (песок) которые в условиях автоклавной обработки способны к образованию силикатного бетона. Поры формируются в результате химической реакции, по которой из алюминиевой пудры в щелочной среде выделяется водород – поризатор.

На определенном этапе (начало 70-х годов) производители газосиликата столкнулись с теми же проблемами, что и производители нынешнего пенобетона – низкая устойчивость технологического регламента к выдерживанию нормативных требований. В целом, при усредняющем подсчете, продукция отвечала ГОСТ-ам, но вот качество каждой партии (иногда в течении даже одной смены) могло сильно отличаться, как в лучшую сторону, так и в худшую. В то время проблему решили директивным образом – если производители не способны обеспечить стабильность характеристик выпускаемой продукции, то нормативные документы, отражающие порядок ее применения, пусть опираются на наихудшие, но стопроцентно выполнимые показатели. А то, что часть выпускаемых газосиликатов с лихвой перекрывает требования ГОСТ-ов, что равносильно снижению рентабельности их производства – уже никого не волновало. – Ну богатые мы тогда были.

«Волновать начало» когда выяснилось, что «экономика должна быть экономной». Еще больше «заволновало» в связи с общемировыми тенденциями к строительству энергоэффективного жилья. После ряда модернизаций технологического регламента (и в первую очередь в связи с внедрением вибров-

спучивания) производители настолько повысили его устойчивость, что стали способны выпускать продукцию, которая настолько хороша, что даже не прописана в соответствующих ГОСТ-ах.

На данном этапе уже несовершенство нормативных документов, и в первую очередь отражающих теплотехническое проектирование, являются тормозом в развитии ячеистых бетонов.

Можно с уверенностью предположить, что за почти столетнюю историю своего существования производство пенобетона также достигло уже такого этапа в своем развитии, когда модификация технологического регламента его изготовления обуславливается уже не субъективными, но объективными факторами. А раз так, то она будет осуществляться вне зависимости от наших желаний, предпочтений, симпатий или возможностей.

Но прежде чем изобретать новое, нужно досконально разобраться в старом. И об этом – далее.

ГЛАВА 1.

ПЕНООБРАЗОВАТЕЛИ В ТЕХНОЛОГИИ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ

Множество пенобетонщиков уже столкнулись с тем фактом, что далеко не всякая пена может быть пригодной для производства пенобетона. Пробные эксперименты по самостоятельному изготовлению пенобетона, как правило, поначалу способны только вызвать разочарование – пенобетон не получается. Обычно сразу же грешат на плохую пену. И действительно, пользуясь пеной для бритья или средствами для мытья посуды, глупо надеяться получить что-то, хотя бы отдаленно напоминающее пенобетон.

Осознание факта, что для пенобетона нужна специальная пена, получаемая на специальном оборудовании, из специальных пенообразователей, выводит на качественно новый уровень экспериментирования – начинает получаться что-то такое «дырчато-ноздреватое». Наивный вопрос: может, это пенобетон и есть? Вряд ли – скорее, некая пародия на него.

После этого наступает следующая стадия освоения производства: покупается специальное оборудование, а затем, в соответствии с прилагаемым технологическим регламентом, производятся первые товарные партии пенобетона. Казалось бы – вот она, виктория!

Но вскоре оказывается, что мало сделать продукцию, тот же пенобетон, надо его еще и продать. Здесь-то и начинаются главные сложности. Отпускную цену формирует рынок, ее не изменишь. А вот собственные затраты, из которых складывается себестоимость, можно минимизировать. Но для этого требуется серьезный научный подход, а не полуграмотные эксперименты, пресловутый «метод тыка». Рынок не обманешь рекламными посулами и якобы сенсационными открытиями.

Часто «бесподобная пена», полученная из «лучшего в мире» пенообразователя, оказывается обыкновенной пустышкой, так как она «не дружит» с ускорителями или пластификаторами. А раз так, то кинетика набора прочности пено-

бетонной массы до момента распадабшки способна разорить на формоснастке.

После длительных и дорогостоящих усилий по освоению технологии производства пенобетона выясняется, что начинать нужно было вовсе не с того.

– А с чего? – спросит уставший от экспериментов производитель.

Ответ простой: с самого начала, с первооснов коллоидной химии.

1.1 Способы контроля и управления процессом пеногенерации

1.1.1. Поверхностные явления и их природа

Поверхность жидкости, соприкасающейся с другой средой – твердой, жидкой, газообразной, – в частности, со стенками сосуда, в котором она содержится, находится в особых условиях по сравнению с остальной ее массой.

Эти «особые условия» складываются из-за того, что молекулы пограничного слоя жидкости, в отличие от молекул в ее глубине, соседствуют с молекулами иной среды. Соответственно, и проявление межмолекулярного взаимодействия в глубине жидкости и на ее границе с другой средой будут разными – возникает неуравновешенная результирующая сила, которая направлена либо вглубь жидкости, либо наружу. Вследствие этого перемещение молекулы из поверхностного слоя вглубь жидкости или среды, с которой она граничит, сопровождается совершением работы, величина и знак которой всецело зависят от соотношения между силами взаимодействия молекул поверхностного слоя со «своими» же молекулами, расположенными в глубине жидкости, и с «чужими» молекулами из приграничной среды.

В случае если жидкость граничит с газом, на молекулы поверхностного слоя действует сила, направленная вглубь жидкости. Это объясняется тем, что плотность молекул в жидкости намного выше, чем в газе, и поэтому сила притяжения, испытываемая молекулой поверхностного слоя со стороны молекул жидкости, больше, чем со стороны молекул пара (см. *рис. 1.1.1-1*)

1.1.2. Адсорбция на границе «жидкость–газ»

Вполне возможна и ситуация, когда площадь межфазной поверхности не имеет возможности изменяться. Тогда должен меняться коэффициент поверхностного натяжения. И если для жидкости моносостава (дистиллированная вода) это невозможно в принципе, то в растворах, состоящих из нескольких жидкостей с разным коэффициентом поверхностного натяжения, этот процесс осуществляется легко – путем изменения концентрации одного из компонен-

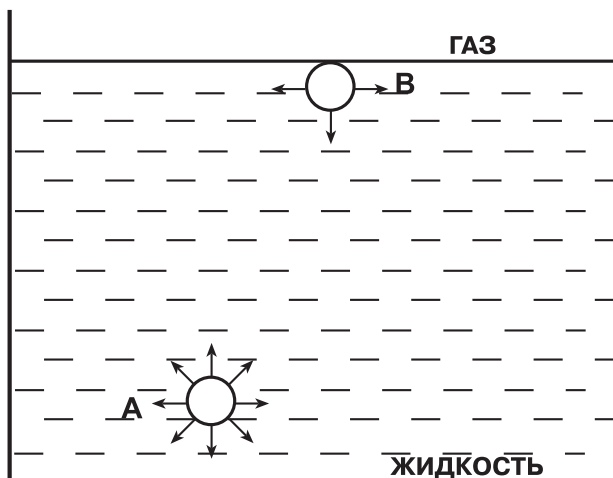


Рис. 1.1.1-1 Силы, действующие на молекулу А, уравновешены; силы, действующие на молекулу В, не уравновешены

тов в поверхностном слое по сравнению с его концентрацией во всем остальном объеме. Этот эффект называется адсорбцией.

В зависимости от природы адсорбционных сил она может быть физической и химической (хемсорбция). Физическая адсорбция обратима, а химическая – нет.

Как видим, подобные процессы возможны только в смесях из двух и более жидкостей с разным поверхностным натяжением – в растворах.

Описанное нами явление проявляется еще и в том, что один их компонентов раствора, даже если его количество ничтожно мало по отношению к другому компоненту, концентрируется на поверхности и тем самым изменяет поверхностное натяжение.

Вещества, понижающие поверхностное натяжение, называются поверхностно-активными (ПАВ). Они взаимодействуют с водой слабее, чем молекулы воды между собой, значит, попадая на поверхность, они уменьшают поверхностное натяжение. К ним относятся спирты, жирные, нефтяные, нафтеновые и смоляные кислоты и их соли, амины и множество других веществ, имеющих дефильное строение, – то есть полярную часть (функциональные группы) и неполярную (углеводородный радикал).

Вещества, понижающие поверхностное натяжение, называются поверхностно-инактивными (ПИВ). К ним относятся сильные электролиты: соли, щелочи, кислоты. Все эти соединения в воде диссоциируют на ионы, которые взаимодействуют с молекулами воды сильнее, чем сами эти молекулы между

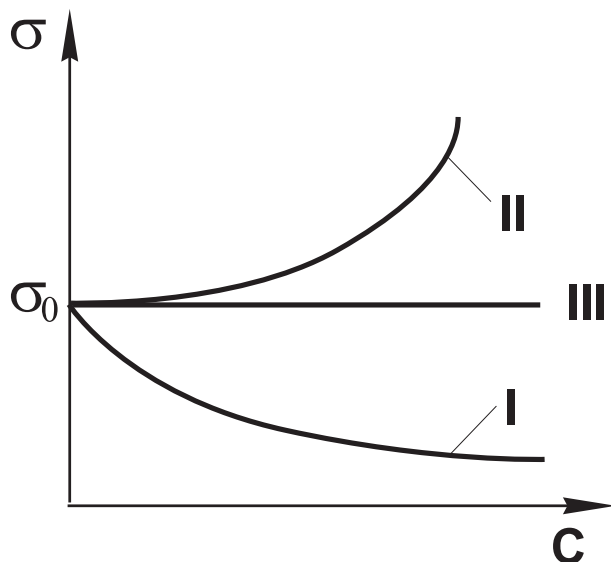


Рис. 1.1.2-1 Зависимость поверхностного натяжения от концентрации растворенного вещества (C) для:

I – поверхностно активных веществ (ПАВ);

II – поверхностно неактивных веществ (ПНВ);

III – поверхностно инактивных веществ (ПИВ);

σ_0 – коэффициент поверхностного натяжения растворителя (воды).

собой. Поэтому значительная часть ионов увлекается молекулами воды в объем раствора. Однако немногие оставшиеся на поверхности ионы создают вблизи поверхности силовое поле, тем самым, повышая поверхностное натяжение.

Вещества, которые не способны растворяться в воде, либо растворение которых практически не приводит к изменению поверхностного натяжения, называются поверхностно неактивными веществами (ПНВ) (см. *рис. 1.1.2-1*)

Анализ графика показывает, что увеличение поверхностного натяжения под влиянием ПИВ сначала происходит незначительно; это связано с тем, что концентрация ионов в поверхностном слое также незначительна, и по составу он близок к чистому растворителю. А вот для ПАВ характерно резкое снижение поверхностного натяжения даже в очень малых концентрациях, что обусловлено концентрацией молекул ПАВ в приповерхностном слое благодаря адсорбционным процессам. По мере роста концентрации ПАВ снижение поверхностной активности уменьшается и на определенном этапе стабилизируется.

Молекулы ПАВ, адсорбируясь на поверхности раздела жидкости с воздухом, образуют своеобразный поверхностный слой, в котором они располагают-

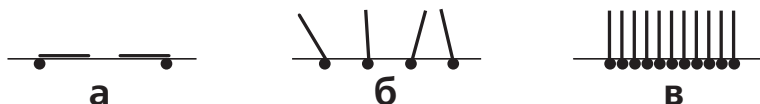


Рис. 1.1.2-2 Ориентация молекул ПАВ на поверхности водных растворов

а – при малых концентрациях

б – при умеренных концентрациях

в – в насыщенном адсорбционном слое

ся строго определенным образом. Ориентация молекул ПАВ происходит так, что гидрофильная часть молекулы (головка) находится в водной фазе, а гидрофобная часть (хвостик) стремится наружу.

Лишь при очень небольшой концентрации ПАВ в растворе молекулы могут располагаться относительно произвольно (см. *рис. 1.1.2-2, а*). По мере повышения концентрации ПАВ их расположение в поверхностном слое все более упорядочивается (см. *рис. 1.1.2-2, б*). В практически применяемых растворах содержание ПАВ обычно такое, что его молекулы образуют на поверхности раздела плотный слой из молекул, ориентированных перпендикулярно поверхностному слою (см. *рис. 1.1.2-2, в*).

Благодаря явлению адсорбции концентрация молекул ПАВ в поверхностном слое даже для сильно разбавленных растворов в миллионы раз превышает их концентрацию во всем остальном объеме раствора.

По достижению определенной концентрации, отдельные молекулы ПАВ в растворе начинают объединяться в агрегаты – мицеллы (см. *рис. 1.1.2-3*).

Благодаря явлению адсорбции концентрация молекул ПАВ в поверхностном слое даже для сильно разбавленных растворов в миллионы раз превышает их концентрацию во всем остальном объеме раствора.

По достижению определенной концентрации, отдельные молекулы ПАВ в растворе начинают объединяться в агрегаты – мицеллы.

Величина такой концентрации, когда количественные критерии переходят в качественные, называется критической концентрацией мицеллообразования – ККМ. В области ККМ происходит резкое изменение свойств растворов ПАВ – поверхностного натяжения, электропроводности, плотности и др. На величину ККМ значительным образом оказывает влияние вид и количество растворенных в воде примесей, и в первую очередь водорастворимых солей.

1.1.3. Формирование пенного пузырька

Рассмотрим на примере одного пенного пузырька, как формируется пена. Представим себе, что пузырек воздуха попал в раствор, содержащий ПАВ. Благодаря эффекту адсорбции на границе раздела фаз «жидкость–газ» сразу же

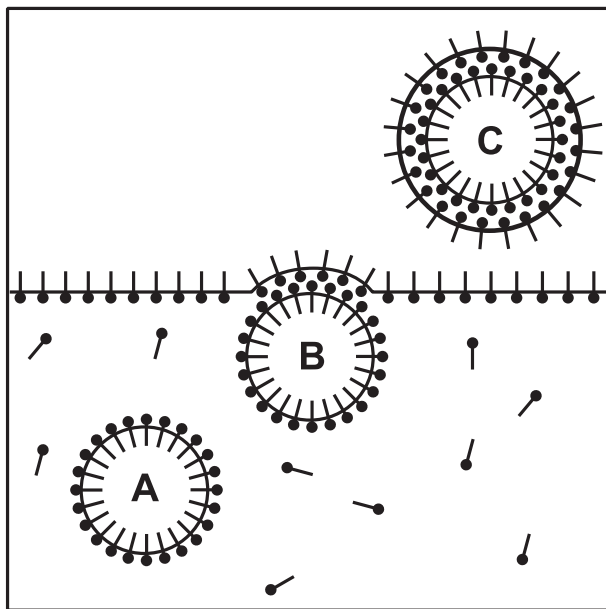


Рис. 1.1.3-1 Этапы формирования пенного пузырька

начинают концентрироваться молекулы ПАВ. Скорость формирования такого адсорбционного слоя целиком зависит от природы ПАВ. Так, для одних ПАВ (синтетических) она очень велика, для других (белковых) – мала. В любом случае воздушный пузырек одевается своеобразной «шубой», состоящей из одного слоя молекул ПАВ (см. *рис. 1.1.3-1, а*).

Всплывая, такой пузырек достигает поверхности жидкости и там встречает еще один адсорбционный слой молекул ПАВ. Воздушный пузырек давит на поверхность жидкости и растягивает ее (см. *рис. 1.1.3-1, б*). Молекулы ПАВ из раствора устремляются к растущей поверхности, предотвращая разрыв пленки жидкости.

Таким образом, при выходе из воды пузырек оказывается окруженным оболочкой уже из двух монослоев ПАВ, между которыми находится пленка жидкости (см. *рис. 1.1.3-1, с*).

Когда в раствор вовлекается много воздуха, образующиеся пузырьки, всплывая, создают на поверхности жидкости пенный слой, толщина которого увеличивается в процессе смешения жидкости и газа. В конечном счете, вся жидкая фаза превращается в пену.

Но одновременно с процессом пенообразования начинается и процесс разрушения пены. Причем, с точки зрения классической термодинамики, если акт

генерации пены инспирирован извне, то ее разрушение – естественный и неизбежный процесс, которым мы можем в определенных рамках управлять, хотя бессильны полностью его предотвратить. Этот факт – неизбежность разрушения пены – следует учитывать при рассмотрении вопросов технологии производства ячеистых бетонов.

Процесс пенообразования крайне сложен из-за совместного влияния многочисленных физико-технических, физико-химических и других факторов. Множество переменных параметров, влияющих на протекание и характер пенообразования в реальных условиях, представлено на нижеприведенной схеме (см. рис. 1.1.3-2).

Как видно из этой схемы, лабораторные методы контроля пенообразования, основанные на изучении основных характеристик используемого пенообразователя и получаемой из него пены, могут подвергнуться серьезным корректировкам в процессе реального производственного процесса, вплоть до получения прямо противоположных результатов.

Эта схема показывает также и практическую невозможность численного выражения протекающих процессов методами математического анализа или моделирования, а также практически исключает возможность масштабного перенесения или аппроксимации лабораторных исследований на натурные образцы без глубокого понимания процессов, описываемых положениями физической и коллоидной химии.

Поэтому практика экспериментальных исследований в области пенообразования в реальных средах возможна только эмпирическим путем.

1.1.4. Формирование пены

Чистые жидкости моносостава не способны к образованию устойчивой пены. Для этого в жидкой фазе, кроме растворителя, должен присутствовать специальный поверхностно-активный компонент (пенообразователь), способный адсорбироваться на межфазной поверхности «раствор–воздух».

По способности создавать устойчивые пены пенообразователи можно разделить на два типа.

1. Пенообразователи первого типа

Это соединения (низшие спирты, кислоты, анилин, креозоты), которые в объеме раствора и в адсорбционном слое находятся в молекулярно-дисперсном состоянии. Пены из растворов таких пенообразователей распадаются по мере истечения межплёночной жидкости. Их стабильность увеличивается с повышением концентрации пенообразователя, достигая максимального значения до насыщения адсорбционного слоя, а затем снижается почти до нуля.

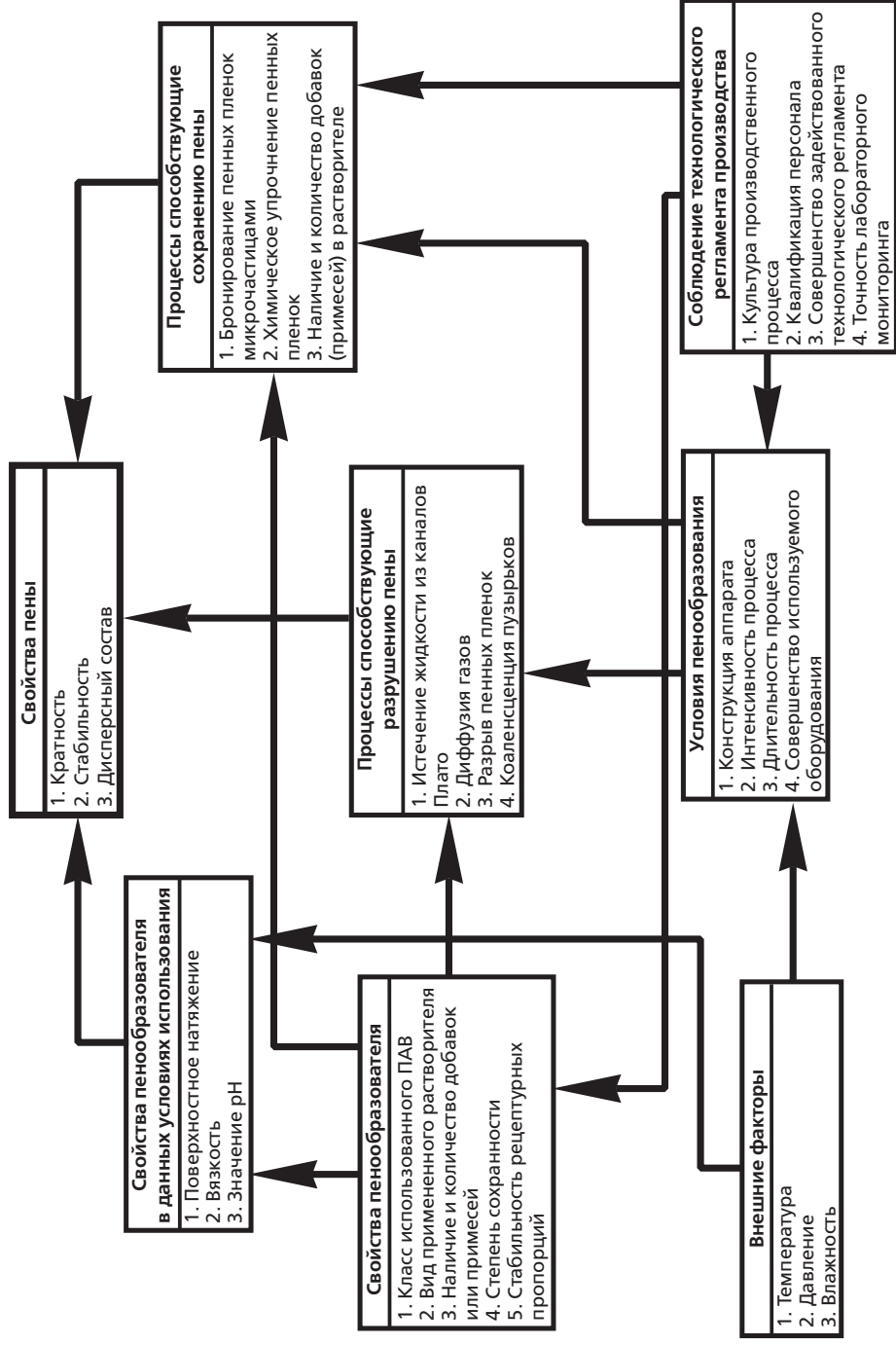


Рис. 1.1.3-2 Схема влияния различных факторов на свойства пены в реальной схеме производства пенобетона

2. Пенообразователи второго типа

Эти соединения (омыленные жирные, смоляные, нафтяновые и нефтяные кислоты – мыла, синтетические ПАВ) образуют в воде коллоидные системы, пены из которых обладают достаточно высокой устойчивостью. Истечение межпленочной жидкости в таких метастабильных пенах в определенный момент прекращается, а пенный каркас может сохраняться длительное время при отсутствии разрушающего действия внешних факторов (вибрация, испарение, пыль и т.д.). Такие системы обладают потенциальным энергетическим барьером, противодействующим разрушению пены и обеспечивающим системе состояние определенного равновесия.

Стабилизация пены из двухкомпонентных растворов (растворитель+ПАВ) обуславливается рядом факторов: устойчивостью к вытеканию жидкости (синерезису), изменением дисперсного состава пены и уменьшением ее общего объема. Именно измерениями этих параметров оценивают качественные характеристики пены. В большинстве случаев таким образом исчерпывающе характеризуется и прогнозируется состояние пены.

В большинстве случаев подобная методика, слепо перенесенная из соответствующих разделов коллоидной химии на реальные технологии, оказывается недостаточной, а то и вовсе ошибочной, способной привести к неправильному поведению пены в реальной системе.

В частности, при производстве пенобетона следует обязательно учитывать то, что проблемы устойчивости пены в данном приложении следует рассматривать не по отношению к двухкомпонентным системам (вода+ПАВ) а к многокомпонентным!

К компонентам, влияющим на стабильность пены в пенобетоне, в первом приближении следует отнести следующие исходные вещества:

1. вода – растворитель;
2. ПАВ – пенообразователь;
3. стабилизатор пенообразования;
4. твердая фаза (цемент и наполнители).

В реальном производственном цикле эти четыре основных компонента могут пополниться и еще несколькими, а именно:

5. ПАВ – пластификатор цементной суспензии;
6. водный раствор электролита – ускоритель твердения и (или) схватывания;
7. заполнитель со значительным электрокинетическим потенциалом (гидравлические добавки в цементе или вводимые индивидуально – трепел, диатомит, зола унос и т.д.).

В процессе гидратации цемента (химического взаимодействия с водой) образуются новые соединения, которые, в свою очередь, также способны

взаимодействовать со всеми остальными компонентами системы и таким опосредованным способом оказывать влияние на стабильность пены.

Необходимо обязательно учитывать и тот факт, что получение пенобетонной массы – процесс динамический. Помимо обеспечения стабильности и устойчивости пены на стадии ее смешения с цементным раствором требуется также обеспечить равномерность распределения этой пены.

Разумеется, все эти многофакторные воздействия на стабильность и устойчивость пены в составе пенобетона практически невозможно учесть теоретически – обязательно потребуется проверить теорию практикой, путем постановки серии бетоноведческих экспериментов. Но для понимания сущности протекания многофакторных процессов в сложных пенных и пеноминеральных системах можно, по крайней мере, попытаться разложить общие функциональные зависимости на отдельные составляющие – элементарные акты.

Такой подход не способен объяснить и спрогнозировать конечный результат, но он позволяет выявить определенные закономерности, с учетом которых уже на стадии бетоноведческого эксперимента можно будет достаточно точно откорректировать конечный результат.

1.1.5 Стабилизация пены и факторы, ее обуславливающие

1.1.5.1 Фактор устойчивости, обусловленный эффектами Марангони и Гиббса

Длительное время эффекты Марангони и Гиббса рассматривались совместно, это даже отразилось в названии: «эффект Марангони-Гиббса». И хотя подобного подхода продолжают придерживаться некоторые отечественные химики-коллоидники, я все же эти эффекты разделяю.

При локальном механическом воздействии пенный пузырек деформируется, растягивается и в точке приложения этого воздействия утончается. Миграция новых порций ПАВ из объема раствора к точке локального утончения идет достаточно медленно, – 0,001–0,1 сек, поэтому ею в данном случае можно пренебречь. В то же время при утончении пенной пленки в этом месте происходит местное увеличение сил поверхностного натяжения. За счет этого происходит миграция молекул ПАВ из близлежащих областей пенной пленки (эффект самозалечивания, или эффект Марангони) и происходит «залечивание» ослабленного участка. Его скорость зависит как от величины поверхностной активности пенообразователя, так и от толщины пенной пленки; в высокократных «сухих» пенах влияние эффекта Марангони значительно, а в низкократных «мокрых» им можно пренебречь.

Пенные пленки обладают определенной упругостью, обусловленной длиной молекулы ПАВ. В зависимости от степени упругости (эластичности)

пенной пленки она способна выдержать определенное локальное механическое возмущение без разрушения, другими словами, спружинит (эффект Гиббса).

Если детский мыльный пузырь обстреливать свинцовой дробью, то она пробьет пузырь насквозь, но не разрушит его – столь высока скорость «самозалечивания» пенных пленок, обусловленная именно эффектами Марангони и Гиббса.

1.1.5.2 Фактор устойчивости, обусловленный теорией ДЛФО

Эта теория, названная по имени разработавших ее ученых (Дерягин, Ландау, Фервей и Овербек – ДЛФО), исходит из основного представления о балансе сил, возникающих между сближившимися на короткое расстояние частицами двухкомпонентной дисперсной системы. В устойчивой системе при сближении частиц и перекрытии поверхностных слоев преобладают силы отталкивания электростатической природы. Эти силы препятствуют сближению частиц на расстояния, где может проявиться уже более сильное воздействие, обусловленное молекулярным притяжением.

Внешняя оболочка пенного пузырька состоит из ориентированного слоя молекул, обладающих неким суммарным электростатическим зарядом. Благодаря этим электростатическим силам при сближении нескольких пузырьков между ними возникает взаимное отталкивание. Если сила, сближающая пенные пузырьки, преодолеет электростатическую силу отталкивания, пузырьки соединятся и лопнут.

Даже такое сильно упрощенное объяснение теории ДЛФО для двухкомпонентных (вода+ПАВ) систем довольно сложно понять. И столь же непонятно, как по-новому начинает работать эта теория в многокомпонентных системах – в той же пенобетонной смеси.

Если взять два магнита и сближать их одинаковыми полюсами, то на определенном расстоянии они начнут отталкиваться. Это иллюстрация теории ДЛФО для двухкомпонентных систем: двухкомпонентная среда «воздух+магниты» аналогична среде «вода+ПАВ». А электромагнитные силы отталкивания двух магнитов по своему проявлению аналогичны электростатическим силам отталкивания двух пенных пузырьков.

Смоделируем трехкомпонентную систему: поместим между магнитами листок бумаги. Легко убедиться – ничего не изменилось, магниты все так же взаимно отталкиваются.

Заменим бумагу на кусочек жести, и характер взаимодействия магнитов станет иным. Сначала они все так же будут отталкиваться, но на определенном расстоянии начнут притягиваться. Если же вместо жести взять брусок металла, то силы отталкивания и вовсе сменятся силами притяжения.

Иными словами, в реальной многокомпонентной пенобетонной системе всегда найдется компонент, который изменит электростатические силы оттал-

кивания двух пенных пузырьков, вплоть до полной замены их силами притяжения, и тогда устойчивость пены многократно снизится.

Такими «вредными компонентами» могут стать электролиты (а к ним относятся все ускорители схватывания и твердения цемента). Кроме того, некоторые ПАВ способны адсорбироваться на цементе и продуктах его гидратации, изменяя тем самым их электростатические характеристики. К примеру, один из элементов цементного клинкера – C_3A (трехкальциевый алюминат), настолько негативно влияет на устойчивость пены, что даже в нормативах ГОСТ на пенобетон есть специальное предостережение: не рекомендуется применять цемент с $C_3A > 6\%$.

1.1.5.3 Факторы устойчивости, обусловленные гидродинамическими процессами в жидкости

На стыке пенных пленок взаимно соприкасающихся пенных пузырьков образуется замкнутая полость, заполненная жидкостью. Под воздействием гравитационных и капиллярных сил она покидает эти замкнутые полости по каналам Плато (названы по имени известного бельгийского ученого, исследовавшего устойчивость дисперсных систем). Эти каналы возникают в месте стыка пленок трех соприкасающихся пенных пузырьков. В одной точке сходятся четыре канала Плато, образуя строго одинаковый угол в 109 градусов 28 минут. Эти каналы пронизывают всю структуру пены, представляя собой взаимосвязанную систему.

Процесс истечения жидкости из пены под действием гравитационных сил называется дренированием. Если сосуд наполнить пеной и оставить на некоторое время, то постепенно на дне соберется слой жидкости, который будет расти до тех пор, пока в пленках пены не останется минимальное количество жидкости (или пока пленки не лопнут).

Истечение жидкости из пены может произойти и вследствие капиллярного всасывания через каналы Плато. Между пузырьками одинакового размера, соприкасающимися в пене, стенка плоская, это своего рода плоский капилляр, поэтому жидкость, заполняющая стенку, находится под таким же давлением, как и газ в этих двух пузырьках. Однако поверхность раздела «жидкость–воздух» близ места соединения трех пузырьков (границ Плато) вогнута по отношению к воздушной фазе. Следовательно, жидкость на границе Плато находится под отрицательным капиллярным давлением, которое и «высасывает» жидкость.

При истечении жидкости по каналам Плато поверхностные слои пенных пленок под действием капиллярных сил или растягиваются, или сжимаются. При растягивании пленки «упаковка» молекул ПАВ становится менее плотной, и на некоторых ее участках поверхностное натяжение увеличивается. В результате появляются ослабленные участки, которые мгновенно восстанавливают свою толщину и прочность под действием эффекта Марангони.

Оба эти процесса – утончение пленок на отдельных участках пузырька и восстановление толщины пленки (хотя и не до первоначальной) – протекают одновременно, обеспечивая устойчивость пены вплоть до определенного момента.

Уменьшение скорости истечения жидкости по каналам Плато – один из путей повышения стабильности пены. Решение этой задачи возможно по нескольким направлениям: изменением гидродинамических характеристик жидкости, закупоркой каналов Плато, управлением капиллярными силами.

1.1.5.4 Минимизация истечения жидкости по каналам Плато регулировкой гидродинамических характеристик жидкости

Если повысить вязкость жидкости, ее гидродинамические характеристики изменятся. Результатом этого станет замедленное истечение жидкости по узким, капиллярной размерности, каналам Плато.

Для изменения гидродинамических характеристик жидкости в состав пенообразователя вводят специальные вещества – стабилизаторы. Их действие основано на увеличении вязкости растворов и за счет этого замедлении истечения жидкости из пены. Иногда происходит внедрение молекул стабилизатора в «часток» молекул пенообразователя в пленках пены и связывание их в прочные, устойчивые объединения. Все стабилизаторы-загустители по степени упрочняющего действия на пены подразделяются на две группы.

К первой относятся вещества, повышающие вязкость самого пенообразующего раствора, – их называют загустителями. Такие вещества следует добавлять к раствору пенообразователя в больших концентрациях. Это глицерин, этиленгликоль, метилцеллюлоза. Производные целлюлозы уже при одно-двухпроцентной дозировке увеличивают вязкость раствора и устойчивость пены в десять раз, а вот глицерин эффективен только при концентрации 15–20 %.

Вторую группу составляют вещества, вызывающие образование коллоидов в пленках. В результате обезвоживание пленок сильно замедляется. Коллоидные стабилизаторы являются более эффективными загустителями, чем вещества первой группы. Во вторую группу добавок входят желатина, столярный клей, крахмал, полисахариды, соли альгиновой кислоты. Эти вещества в количестве 0,2–0,3 % от массы ПАВ увеличивают вязкость жидкости в пленках более чем в 100 раз, а устойчивость пены возрастает при этом в 2–8 раз (например, клее-канифольный пенообразователь застabilизирован столярным клеем).

Вещества, полимеризующиеся в объеме пены, относятся к третьей группе стабилизаторов. Полимеризация значительно увеличивает прочность пленок. Возможен даже их переход в твердое состояние. Это наиболее эффективные стабилизаторы; в одних случаях это полимерные композиции – синтетические смолы (например, карбамидные), в других – латексы и др.

1.1.5.5 Минимизация истечения жидкости путем закупорки каналов Плато

Если в состав пены ввести ультрамелкий заполнитель, обладающий слабо выраженным зарядом поверхности, то он может попросту закупорить канал Плато – истечение жидкости при этом сильно замедлится. Соответственно, повысится стойкость пены. Тонкомолотый кварцевый песок – типичный представитель подобных стабилизаторов.

Некоторые вещества, помимо закупорки каналов Плато, способны образовывать с пенообразователем нерастворимые в воде высокодисперсные осадки, которые бронируют (упрочняют) пенные пленки и препятствуют их разрушению. Это самый дешевый и наиболее распространенный метод стабилизации пены на основе нефтяных сульфокислот (синтетических пенообразователей). Так, для стабилизации алюмосульфонефтяного пенообразователя применяется сернокислый глинозем.

1.1.5.6 Минимизация истечения жидкости путем управления капиллярными силами

Предвестником разрушения пены является значительное истечение жидкости по каналам Плато. Оно происходит под воздействием гравитационных и капиллярных сил. В большинстве случаев практического применения гравитационными силами можно пренебречь, поскольку они в 20–30 раз слабее капиллярных.

Капиллярные силы, инициирующие истечение жидкости из пены, возникают в капиллярных каналах (каналах Плато). Величина капиллярных сил всецело зависит от геометрической размерности пенных пленок, а соответственно, и капиллярных каналов. В толстых пенных пленках (низкократные пены) капиллярные силы гораздо слабее, чем в тонких пленках (высокократные пены). С учетом этих особенностей и решается, какой из механизмов стабилизации пены будет более действенным для обеспечения ее стабильности. Высокократные пены предпочтительней стабилизировать путем уменьшения скорости истечения из них жидкости по каналам Плато под воздействием капиллярных сил, – например, повышать вязкость пенообразователя. Для низкократных пен более эффективными могут оказаться другие методы повышения стабильности пены, – скажем, закупорка каналов Плато.

По той же причине необходимо строго придерживаться указанного производителем технологического регламента на производство пенобетона в части рекомендуемых дозировок пенообразователя для получения определенного объема пены. Очень часто, пытаясь изменить плотность выпускаемого пенобетона, произвольно изменяют кратность пены, чем, по сути, «выключают» механизм стабилизации пены – в результате на выходе – брак.

1.1.5.7 Структурно-механические факторы устойчивости

Основываясь на открытиях Плато, советским ученым, академиком П. А. Ребиндером, совместно с учениками была предложена и детально исследована структурно-механическая теория устойчивости пен. Согласно этой теории, устойчивость адсорбционных слоев (в том числе и в пенах) определяется как поверхностными силами, так и механическими свойствами пенных пленок. Если каким-либо способом улучшить эти свойства, то увеличится (порой многократно) и устойчивость пены.

Именно обеспечение структурно-механического фактора устойчивости способно придать наибольшую устойчивость пене. Например, все белковые пенообразователи, из-за особого трехмерного строения белковых ПАВ, образуют подвижные, но очень прочные адсорбционные слои, формирующие пенные пленки. Благодаря высокой устойчивости пены она способна выдерживать значительные механические воздействия извне – скажем, при перемешивании с цементным раствором. На этом факте основан традиционный метод производства пенобетона: заранее приготовленная в специальном пеногенераторе пена смешивается с цементно-песчаным раствором в низкоскоростном смесителе.

Переход от рассмотрения двухкомпонентных (растворитель+ПАВ) составов к реальным многокомпонентным (пеноцементная смесь) позволяет, принимая во внимание структурно-механические факторы, объяснить и феномен чрезвычайно высокой устойчивости некоторых видов пен, в частности, приготовленных из смеси смоляных и жирных кислот (пенообразователь СДО).

Этот пенообразователь состоит из смеси омыленных смоляных и жирных кислот. Введение в его состав стабилизатора – извести, инициирует обменно-замещающие реакции по кальцию. Смоляные мыла превращаются в кальциевые, у которых поверхностная активность выше. Как и натриевые на основе жирных кислот, при этом они теряют способность растворяться в воде.

В результате этих процессов формируется объемная, прочная и высоковязкая структура пенных пленок, существенно отличающаяся от остальной массы раствора. Кроме того, мельчайшие частички гидроокиси кальция и синтезирующиеся в момент пеногенерации кальциевые мыла жирных кислот бронируют поверхность пенных пузырьков и закупоривают каналы Плато. Все вместе позволяет получить настолько стабильную низкократную пену, что она способна выдержать даже «встречу» с сухими заполнителями – цементом и песком (эта разновидность технологического регламента производства пенобетона называется методом сухой минерализации).

С позиций структурно-механического фактора устойчивости становится возможным объяснить и тот факт, что некоторые пенообразователи, в частности, на основе сапонинов, обеспечивают на порядок большую стабильность

получаемой из них пены, если применяются не свежеприготовленные, а выдержанные растворы. В результате гидролиза в процессе хранения в растворе пенообразователя самопроизвольно накапливаются более активные компоненты, способные к образованию высоковязких адсорбционных слоев пространственной структуры.

1.1.5.8 Факторы устойчивости, обусловленные диффузионным переносом газа

В соответствии с уравнением Лапласа, давление воздуха в пенных пузырьках обратно пропорционально их радиусу – в маленьких пузырьках давление выше, чем в больших. Так как реальные пены всегда полидисперсны (содержат пузырьки разного размера), то возникают условия, когда воздух из области повышенного давления (маленький пузырек) стремится в область меньшего давления (большой пузырек). Разность давлений между двумя соприкасающимися пузырьками разной размерности компенсируется кривизной их стенок, – перегородка в точке контакта двух пузырьков прогибается в сторону более крупного.

Пенные пленки обладают определенной упругостью, и такое состояние равновесия оставалось бы стабильным, будь они совершенно непроницаемы для газа, содержащегося в пузырьках. Но это условие недостижимо, так как газ способен диффундировать (проникать) через стенки пенных пузырьков, устремляясь из области высокого давления в область низкого. В результате маленькие пузырьки становятся еще меньше, а большие – еще больше, пока не лопнут. Разрушение пенного пузырька происходит практически мгновенно, как микровзрыв. Разлетающиеся осколки пробивают соседние пузырьки и разрушают их, – этот процесс может принять лавинообразный характер.

В полидисперсной пене существует определенная фракция пенных пузырьков, которая «сохраняет нейтралитет» – они и не самые крупные, и не самые мелкие – средние, поэтому процессы разрушения, обусловленные диффузионным переносом газа, коснутся их в последнюю очередь. Для каждого вида пенообразователя такая «нейтральная» размерность пенных пузырьков своя. Так, для пен, образованных на основе пенообразователя из сульфанола, наиболее оптимальна размерность 0,12–0,16 мм. Чем больше образуется пузырьков именно этой размерности, тем стабильней будет полученная пена.

Именно из-за того, что доморощенные кулибины не учитывают фактор устойчивости пены, обусловленный диффузионным переносом газа, их самодельные пеногенераторы не способны производить качественную пену. Используемый в подобных устройствах метод генерации пены «на сетках» не имеет ничего общего с продуванием воздуха через кухонные провололочные мочалки, – на выходе получается чрезвычайно полидисперсная пена, которая быстро разрушается как сама по себе, так и (гораздо быстрее) при встрече с цементным

раствором. В итоге пена из таких пеногенераторов на вид распрекрасная, а пенобетон из нее – плохой.

1.1.5.9 Гидродинамический фактор устойчивости

Цементный раствор и пена – это всего лишь сырье для производства пенобетона. Качество пенобетона как конечного продукта во многом определяется тщательностью их смешивания. В то же время именно на стадии перемешивания возможно наиболее активное разрушение пены. Эти два процесса – тщательное вымешивание пеномассы и сохранение стабильности ее ячеистой структуры – являются взаимоисключающими.

Частичное решение – как тщательно вымешать пеномассу и не разрушить при этом пену, лежит в плоскости анализа упруго-вязких характеристик пенных пленок. Из теории флотационных процессов известно, что вероятность внедрения, разрушения или отторжения минеральной частицы поверхностью пенного пузырька зависит как от характеристик этой минеральной частицы (в первую очередь геометрических), так и от гидродинамических параметров процесса их встречи – скорости сближения, формы и размеров пузырька и частицы, времени их контакта при соударении, массы частицы и т.д.

Вероятность закрепления частицы на пузырьке возрастает при скорости столкновения ее с пенным пузырьком в пределах 1,2–6,0 м/мин. Именно в этом скоростном диапазоне работает технологический регламент производства пенобетона, называемый методом сухой минерализации.

Диапазон ниже 1,2 м/мин – это область традиционного метода (с пеногенератором). Двигаясь на такой малой скорости, лопасти смесителя и пеномасса не способны причинить пене существенного ущерба. В то же время даже такое низкоскоростное механическое воздействие способно в полной мере запустить механизм повышения пластично-вязких характеристик цементной матрицы в присутствии слабых гидрофобизаторов, коими, как правило, и являются пенообразователи, применяемые в этой технологии.

При скоростях выше 6,0 м/мин твердые частицы отталкиваются упругими стенками пенных пузырьков, не разрушаясь. Такие скорости используются в так называемой баротехнологии. Благодаря специально подобранным пенообразователям с высокой скоростью адсорбции на границе «газ – жидкость» и в результате скоростного перемешивания лопасти смесителя способны вовлекать в пеномассу дополнительный воздух. Предварительно сформировавшиеся пенные пузырьки из-за высокой скорости встречи, подобно мячикам, отскакивают и от смесительных лопаток, и от движущейся пеномассы с минимальными разрушениями.

Разумеется, изменение скорости или даже направления потоков в смесителе чревато непредсказуемыми последствиями, и, прежде всего, изменением

гидродинамических факторов устойчивости. Об этом следует обязательно помнить, копируя чью-либо удачную разработку или конструируя свою собственную. Порой замена «некрасиво торчащего» болта на лопатке смесителя способна превратить удачную конструкцию в источник непреходящей головной боли, – что делать с браком?

1.1.5.10 Фактор устойчивости пены, обусловленный кристаллохимическими особенностями вяжущего

В технологии пенобетона огромное (если не решающее) значение играют адсорбционные процессы в пенообразователе на разделе двух фаз – именно благодаря им и возможно образование пены на разделе фаз «воздух – жидкость».

Но пенообразователи способны адсорбироваться и на твердых телах, на разделе фаз «жидкость – твердая фаза». Такая их способность весьма негативно влияет на кинетику гидратации клинкерного фонда цемента. Кроме того, пенообразователь способен адсорбироваться и на продуктах гидратации цемента – гидратных новообразованиях. В этом случае искажается структура и морфология первичных гидратных новообразований – гидроалюминатов и этtringита. Они уже оказываются не способными обеспечить заданное начало и длительность периода схватывания, а также кинетику набора прочности. Мало того, изначально искаженный кристаллохимический каркас новообразований не способствует набору высокой марочной прочности.

Любая пена имеет определенный период стойкости, к исчерпанию которого цементная матрица должна уже настолько окрепнуть, чтобы быть способной выдерживать как минимум свой вес, иначе начинается так знакомый любому пенобетонщику процесс осадки пенобетона в формах. И хотя скорость набора пластической прочности пеноцементной массой не является функцией стойкости пены, именно вид и природа поверхностно активного вещества, задействованного в конкретном пенообразователе, существенно влияют на то, как скоро твердеющий цемент способен будет «подставить плечо» теряющей стойкость пене.

Если взять два пенообразователя, например, белковый и синтетический, то их адсорбция на границе «газ – жидкость» будет иметь весьма незначительные различия – 20–40 %. Однако адсорбция на границе «жидкость – твердое тело» (а соответственно, и влияние на процессы гидратации цемента) будет различаться очень сильно, в 3–4 раза! У белкового ПАВа она мала, у синтетического гораздо выше.

Именно благодаря этому явлению пенобетон, произведенный на белковых пенообразователях, при прочих равных условиях получается гораздо прочнее, чем на синтетических. Кроме того, именно использование белковых (протеиновых) пенообразователей позволяет практически отказаться от использования

ускорителей в производстве пенобетона, что в случае синтетических пенообразователей практически невозможно.

1.2 Основные требования, предъявляемые к пенообразователям в технологии ячеистых бетонов

Выбор пенообразователя в известной мере обуславливает как технологию производства пенобетона, так и технические и эксплуатационные характеристики получаемой продукции. Различные свойства пены по-разному влияют на структуру образования, формирования и твердения пенобетонной массы, отражаются на последующих эксплуатационных характеристиках зданий и сооружений, построенных из пенобетона.

Для оценки качества пенообразующих растворов и приготовленных из них пен в различных отраслях промышленности применяют разные критерии. Это может быть и абсолютный объем получаемой пены с единицы пенообразователя (очистка котловых вод), и время живучести пены (кулинария), и биосидность (фармакология), и несущая способность (флотация), и вязкость (пылеподавление), и стойкость к тепловому воздействию (пожаротушение), и смачивающая способность (очистка поверхностей), и время сохранения эффективного пенообразования (аэрозольные пены) и т.д.

До настоящего времени нет универсального подхода к оценке эффективности того или иного пенообразователя. Для каждого конкретного случая важны свои критерии оценки, свои характеристики, порой взаимоисключающие.

Для производства пенобетонов наиболее важны следующие параметры пены:

1. кратность – отношение первоначального объема пены к объему раствора пенообразователя, затраченного на ее получение;
2. стабильность – время распада единицы объема пены за единицу времени;
3. дисперсность – величина, характеризующая средний размер пузырьков и их распределение в объеме пены;
4. плотность – соотношение жидкой и газовой фаз;
5. структурно механические свойства – способность определенное время сохранять первоначальную форму;
6. несущая способность – способность пузырьков пены без разрушения удерживать на своей поверхности определенное количество твердых частиц;
7. влияние на изменение пластической вязкости ячеисто-бетонной композиции;
8. гидрофобизация или гидрофолизация внутреннего порового пространства ячеистого бетона;

9. влияние компонентов пенообразователя на гидратацию цемента;
10. совместимость пены с другими компонентами, применяемыми для изготовления пенобетона (пластификаторы, ускорители, газовыделяющие и гидрофобизирующие добавки и т. д.).

Знание механизма пенообразования, влияния отдельных факторов на характеристики пены обуславливает и степень успешности производства пенобетона в целом. А пренебрежение основополагающими и фундаментальными закономерностями в этой области (или простое незнание) порождает или плохое качество производимого пенобетона, или нестабильность его характеристик.

1.2.1 Этапы существования пены как ячеисто-пленочной структуры

Пена как ячеисто-пленочная система представляет собой отдельные пузырьки воздуха, разделенные пленками раствора пенообразователя. В процессе образования и существования пены можно наблюдать три периода.

В *первый период* воздушные пузырьки отделены друг от друга толстыми пленками жидкости и могут свободно перемещаться. Это более или менее вязкие, но текучие системы. В этот период пена обладает сходством с обычной концентрированной эмульсией. Со временем пузырьки теряют свободу перемещения, превращаясь в полиэдрические ячейки, разграниченные тонкими, несколько изогнутыми пленками жидкости; наблюдается количественное преобладание дисперсной фазы над дисперсионной средой, с образованием структуры.

Во *второй период* пена похожа на желатинизированную эмульсию. Устойчивость пены в этот момент является не агрегативной, а определяется механической прочностью остова, образованного из пленок той жидкости, которая представляет собой дисперсионную среду.

Третий период коалесценции соответствует превращению пены в две объемные фазы с минимальной поверхностью раздела.

Основное условие образования пены – формирование неоднородных по составу пограничных слоев. Химически чистые жидкости практически не образуют пены. Если в них растворены другие вещества в молекулярном или коллоидном состоянии, то раствор может вспениваться, когда концентрация растворенного вещества в поверхностном слое больше, чем в объеме раствора, то есть при образовании адсорбционного слоя.

Адсорбция может быть положительной или отрицательной в зависимости от того, происходит увеличение или уменьшение концентрации вещества в поверхностном слое. Существует определенная термодинамическая связь между адсорбцией (изменение концентрации раствора вблизи поверхности) и поверхностной активностью (способность растворенного вещества уменьшать свободную

поверхностную энергию). Вещества, понижающие поверхностное натяжение воды, называют поверхностно активными (ПАВ). Чем эффективней ПАВ, тем слабее поверхностное натяжение воды – соответственно, затраты энергии на формирование пены будут меньше.

Установлено, что ПАВ – это вещества, содержащие полярные группы молекул, которые химически активны как к одной фазе (в нашем случае это вода), так и к другой – воздуху. Например, группы ОН или СООН будут притягиваться к водной среде, а углеводородные – к неполярной. В системе «жидкость–газ» водородные группы выталкиваются из воды. Причем энергия этого выталкивания для ПАВ различной природы зависит от многих факторов. В частности, пенообразующая способность растворов на основе щелочных мыл жирных и смоляных кислот сильно зависит от длины углеводородной цепочки. Зависимость эта не линейна. Она описывается правилом Траубе, которое гласит: в гомологическом ряду кислот их поверхностная активность быстро возрастает с удлинением углеводородной цепи – в 3,2 раза на каждую прибавляющуюся CH_2 -группу.

(Читатель может меня упрекнуть, дескать, жили столько лет, не зная правила Траубе, – и ничего. Но далее автор постарается доказать, что именно это правило способно четко, исчерпывающе и предельно объективно охарактеризовать эффективность некоторых наиболее распространенных пенообразователей на основе жирных и смоляных кислот).

Пенообразующая способность растворов ПАВ зависит также от вида катиона (щелочи, примененной для омыления кислоты), температуры, pH среды. Без учета всех этих факторов трудно получить хороший пенобетон. Еще труднее добиться стабильности его характеристик.

1.2.2 Взаимосвязь структуры пены и технологического регламента производства пенобетона

Структура и технологические характеристики пены существенно изменяются в зависимости от ее кратности. Соответственно, и пенобетон будет наследовать подобную изменчивость своих характеристик в зависимости от качества и свойств пены.

Поэтому высказывания вроде «в методе сухой минерализации используются низкократные пены» либо «в традиционном методе производства пенобетона используются высокократные пены» не могут быть приняты ни исследователем, ни практиком, ибо в таком широком диапазоне кратности пена претерпевает весьма существенные структурные изменения, которые неизбежно унаследует и пенобетон.

Низкократные пены (иногда их называют «мокрые пены») кратностью 2–6 характеризует сферическая форма пор, отсутствие жесткого структурного каркаса, повышенная текучесть и избыток воды. Такие пены легко приготавливаются уже при минимальных количествах пенообразователя (ориентировочно до 0,5% по отношению к воде), поэтому и отрицательное влияние ПАВ на кинетику гидратации цемента будет минимальным.

Низкократные пены крайне нестабильны. Но при введении в подобную низкократную пену минерального порошка (заполнитель и/или цемент) синерезис (истечение жидкости из пены) существенно замедляются либо прекращаются вовсе. Минеральный порошок закупоривает каналы Плато, на уровне сорбционных (и хемсорбционных, что очень важно, но об этом далее) процессов упрочняет пенный пузырек (иногда говорят – «бронирует»). Кроме того, сорбция воды сухой минеральной смесью, связывание ее в сольватные оболочки и гидратные новообразования также существенно снижает количество «лишней» воды в системе. В результате подобных процессов стойкость пено-минеральной массы существенно выше, чем пены.

Из-за того, что все эти процессы несколько растянуты по времени, формируются условия, при которых изначальная внутрискруктурная подвижность низкократных пен, обусловленная наличием излишней жидкой фазы (воды) в форме толстых пленок вокруг мелких сферических воздушных пор, тем не менее предопределяет высокую устойчивость пено-минеральной массы даже при пониженных водотвердых соотношениях ($V/T < 0.5$).

Помимо того, что уменьшение количества воды затворения в цементной системе само по себе является мощным фактором ускорения его схватывания и твердения, такие низкие V/T (практически недостижимые при всех остальных способах приготовления пенобетона и весьма приближающиеся к оптимуму по V/C) позволяют существенно сократить цикл производства пеносмеси (вплоть до применения установок непрерывного цикла), использовать быстросхватывающиеся вяжущие (в том числе гипсовые и «взрывные» ускорители схватывания – силикат-натриевые композиции). Становится также возможным применение внешнего вибрационного воздействия на пенобетонную смесь на стадии ее укладки и формирования.

На описанных выше эффектах основан метод сухой минерализации производства пенобетона.

1.2.2.1 Технологический регламент – метод сухой минерализации

Метод сухой минерализации вовсе не новинка, как думают многие. Ему уже больше 40 лет. Это разработка МИСИ, создателем которой по праву называют Адольфа Петровича Меркина.

Опишу кратко суть метода. Если по другим методикам вода как один из участников химической реакции, в результате которой формируется цементный камень, вводится в качестве самостоятельного ингредиента, то метод сухой минерализации основан на том, что вода вводится в систему в составе пены.

Благодаря этому методу стало возможным вводить сухую смесь вяжущего и заполнителей в низкократную пену (мало пены – много воды).

Метод сухой минерализации сулит ощутимые преимущества перед всеми остальными, поскольку существенно упрощается такой сложный и капризный технологический передел, как пеногенерация и обеспечение постоянства заданной плотности пенобетона. Поэтому большинство крупных производителей, ориентированных на индустриальное производство пенобетона, работают именно по способу сухой минерализации.

Производители оборудования для изготовления пенобетона как по традиционному методу, так и по баротехнологии, конечно, могут утверждать, что, дескать, именно эти способы самые распространенные. И в чем-то они будут правы. Если считать единичные установки, то, несомненно, полукустарные «шарашки», в которых установлено именно такое оборудование, преобладают, – пенобетон сейчас не делает только ленивый. Если подсчитать объемы производимой продукции, то окажется, что по методу сухой минерализации производится процентов 90 всего пенобетона. (Прошу не путать – в данном контексте речь идет именно о пенобетоне, то есть ячеистом безавтоклавном бетоне, в котором вяжущим выступает портландцемент, а организация поровой структуры осуществляется пеной.)

Очень важным фактором при производстве пенобетона по методу сухой минерализации, особенно на пенах кратностью до 6, является предельная простота и унифицированность всего оборудования.

Так как минерализация низкократной пены не меняет (как и во всех других способах), а только фиксирует ее основные характеристики (объем вовлеченного воздуха, характер организации порового пространства, форму пор), то и управлять эксплуатационными характеристиками пенобетона становится возможным исключительно за счет изменения кратности пены.

При кратности 4 объем вовлеченного воздуха составляет примерно 75% (теоретический предел упаковки сферических пор одинакового размера; данное утверждение подтверждается математическими формулами). Следовательно, такая кратность наиболее оптимальна для получения конструкционно-теплоизоляционного пенобетона с замкнутой структурой пор, мелкопористой структуры и с толстыми сплошными межпоровыми перегородками (посредственные теплофизические качества, но максимально достижимая прочность при минимальном водопоглощении). Обычно при кратности пены 4 получают пенобетон плотностью 600–900 кг/м³ при В/Т = 0.4–0.5.

Еще один весьма существенный момент, которым порой неоправданно злоупотребляют производители (чаще всего начинающие и те, кто слепо доверяет рекламной информации): пены такой низкой кратности имеют очень толстые межпоровые пленки. И особенно толстые – в межузлиях воздушных пузырьков. Этот фактор, а также отсутствие жесткой фиксации смежных пор друг относительно друга, создает теоретическую возможность использования немолотых компонентов. Вплоть до использования крупных песков, которые из-за толстых пленок не способны прорвать пенные пузырьки. Теоретически все верно. И данная схема была с успехом реализована как у нас, так и за рубежом (в частности, использовались барханные пески Средней Азии без предварительного помола). Но на практике такой замечательной возможностью воспользоваться практически не удается.

Для пены кратностью выше 4 уже характерна полифракционная структура сферических пор – поры еще сохраняют сферическую форму, но они уже разной размерности. По мере увеличения кратности полифракционность возрастает. При кратности 6 теоретически достижимая плотность упаковки пор составляет 83 %. Минеральная смесь, введенная в такую пену, зафиксирует подобную полифракционность и унаследует от ней весь потенциал дефектности и несовершенства поровой организации. После отверждения пенобетона это обусловит открытую пористость; в зоне соприкосновения пор разной размерности могут образоваться нарушения цельности межпоровых перегородок. Возникновение подобных точечных дефектов обуславливается тем, что в этих местах прослойки жидкой фазы между пенными пузырьками становятся меньше, чем размер зерен минерального порошка, а потому минерализация и фиксация пенного пузырька вяжущим здесь не произойдет.

Такие точечные дефекты не очень сильно влияют на прочность межпоровых перегородок (прочность пенобетона уменьшается незначительно), но они уже сформируют открытую пористость – отдельные поры разной размерности не разделены сплошной, целостной межпоровой перегородкой, а имеют возможность сообщаться между собой. Данный факт, с одной стороны, обуславливает повышенную водопроницаемость такого пенобетона, а с другой – придает ему высокие звукопоглощающие характеристики в широком диапазоне частот.

С учетом вышесказанного, метод сухой минерализации при использовании пены кратностью 6 широко используется при производстве перегородочного пенобетона плотностью 300–450 кг/м³, а также пеногипсовых звукопоглощающих и звукоизолирующих плит.

На строительных объектах, где предполагается облицовка, особое значение приобретают характеристики работы материала на изгиб. Именно в этой сфере применения (а не везде, как это рассказывают рекламные СМИ) имеет смысл реализовать в пенобетоне различного рода методики, направленные, прежде

всего, на повышение его прочности на изгиб (армирование, микроармирование, введение водорастворимых полимеров и так далее).

У пены кратностью 9 количество вовлеченного воздуха теоретически составляет 89%.

Увеличение кратности до 14 увеличивает воздухосодержание пены уже до 93%. Если такую пену зафиксировать минерализатором, то можно получить особо легкий теплоизоляционный пенобетон плотностью 150–250 кг/м³ (причем с сохранением В/Т на уровне 0,5–0,6).

Однако, как уже говорилось выше, увеличение объема воздушной фазы (повышение кратности пены) обуславливает все возрастающее несовершенство поровой организации такой пены – она все больше и больше перестраивается в жесткую и плотную упаковку частично или полностью деформированных сферических пузырьков, которые разделяет хоть и множество, но тонких прослоек. В зонах соприкосновения этих пор прослойки вообще становятся плоскими и чрезвычайно тонкими. В таких сверхтонких прослойках уже недостаточно воды для нормальной гидратации цемента. Кроме того, в тонкие прослойки не может внедриться минерализатор, чтобы «бронировать» пенный пузырек.

Особенно заметным такая перестройка поровой организации пены, влекущая за собой существенные изменения в структуре и прочности пенобетона, начинается на рубеже кратности пены, равной 9. Поэтому применение для сухой минерализации пен кратностью 9 и выше чревато уже очень серьезными последствиями. Пониженная подвижность пенных пузырьков и наличие огромного количества тончайших контактных зон, в которых минерализация вообще невозможна, определяют повышенную склонность таких пен к саморазрушению при минерализации, что является важным технологическим мотивом повышения В/Т > 0.7. Как одно из частичных решений для этого случая – применение вяжущих низкой водопотребности, например, ВНВ.

(Очень часто ВНВ изготавливают и используют на местах, вводя при помеле суперпластификаторы качестве интенсификаторов помола и дезагрегаторов. В отечественной практике был детально отработан технологический регламент с использованием суперпластификатора класса нафталинформальдегидов – С-3.)

Однако в любом случае пенобетон имеет явно выраженную дефектность межпоровых перегородок. Они уже перестают работать на сжатие (кессонная схема нагружения), а воспринимают нагрузку только на изгиб. Это определяет их крайне низкие прочностные характеристики, которые зачастую не способны обеспечить даже самонесущие свойства. Поэтому пенобетон, полученный на пене кратностью выше 9, обычно используется только при изготовлении «заливочного» пенобетона – в межстенных проемах, для заполнения пустот многощелевых вибропрессованных камней и т. д.

При дальнейшем увеличении кратности (свыше 15) пены уже представляют собой пространственно-ячеистые структуры, состоящие из многогранных пор, связанных между собой в общий каркас тонкими разделительными пленками. В таких высокократных пенах почти отсутствует свободная жидкая фаза, поэтому они уже сами по себе имеют жесткое строение и проявляют известную стабильность (порой в несколько суток) за счет практически полного отсутствия синергиза.

Высокократные пены с кратностью выше 15 вполне способны передать свою поровую организацию и пенобетону, но из-за недостатка в них жидкой фазы (воды) ее приходится вводить в составе цементного раствора. При этом плотность получаемого пенобетона регулируется не изменением кратности пены (метод сухой минерализации), а подбором соотношения между объемом высокократной пены и раствором вяжущего (традиционная схема), либо – что, по сути, то же самое – моделированием процессов вовлечения воздуха в растворную смесь (баротехнология).

1.2.2.1.1 Некоторые технологические особенности реализации технологического регламента метода сухой минерализации

Выбор пенообразователя

В технологии сухой минерализации присутствует такой замечательный парадокс: самый плохой пенообразователь, от которого открешиваются все без исключения пенобетонщики, работающие и по традиционному методу, и по баротехнологии, в данном случае оказывается наилучшим. Конечно же, я веду речь о СДО (смола древесная омыленная).

Данный факт проистекает из того, что СДО не является пенообразователем моносостава. Эти отходы пиролиза древесины при изготовлении уксусной кислоты содержат множество веществ, но основная доля – омыленные смоляные и жирные кислоты. И именно комбинация – смоляные+жирные кислоты, обеспечивает не только адсорбционные эффекты упрочнения пенного пузырька, но и хемсорбционные, а это уже, как говорится, «тяжелая артиллерия».

Смоляные кислоты и в первую очередь абиетинового ряда – прекрасные пенообразователи. Особенно в присутствии гидроокисей кальция. Иными словами, практически на любой воде. А если это будет жесткая минерализованная вода (еще лучше ее дополнительно минерализовать), процесс пеногенерации будет весьма стабильным.

Жирные кислоты тоже хорошие пенообразователи. Но в присутствии гидроокиси кальция (цемент) они свою пенообразующую способность утрачивают, так как переходят в водонерастворимые кальциевые мыла.

Переход растворимых мыл в водонерастворимые осуществляется в самой оболочке пенного пузырька, в момент, когда низкократная пена совмещается

с цементом. В результате пенный пузырек «бронирован» не только прилипшими к нему мелкими минеральными частицами, но эти частички еще и склеиваются мельчайшими новообразованиями кальциевых мыл жирных кислот.

В итоге на «плохом» и дешевом СДО сухая минерализация показывает прекрасные результаты, а применение «хороших» и жутко дорогих заморских компонентов способно довести технолога до инфаркта.

Вот откуда утверждение, что именно СДО – самый массово применяемый пенообразователь, ведь большинство промышленных производителей пенобетона, осуществляющих львиную долю его выпуска, работают как раз на СДО.

Выбор заполнителя

При работе по методу сухой минерализации, в принципе, можно использовать немолотые пески или золы. Теоретически все красиво: взяли копеечный пенообразователь, изготовили низкократную пену – да хоть в стиральной машине! Затем в соседнем карьере набрали мелкого песка, не пригодного ни для чего больше, смешали его насухо с цементом, добавили к готовой пене – и все.

Но это теория. На практике, как правило, получается брак. Потому что смешать цемент с песком насухо и обеспечить при этом однородность смеси практически невозможно. И если в традиционных технологиях гомогенизацию облегчает жидкая смазка – вода, то при смешении насухо обязательно начинаются процессы агрегатирования.

Короче говоря, обычными способами обеспечить равномерность распределения цемента в наполнителе вряд ли удастся. Поэтому такой минерализатор, вводимый в низкократную пену, привносит с собой неравномерность структуры затвердевшей пеносмеси. В одном месте пузырек был минерализован смесью цемента с наполнителем (как нужно) – и там все нормально. В другом месте минерализатором был только заполнитель – какая с него прочность? Еще рядом оказался только один цемент – здесь на стадии твердения начинаются деструктивные процессы, обусловленные протеканием влажностной и контракционной усадки слишком жирного вяжущего. В результате – «плавающие» характеристики по прочности и водопоглощению, а технолог опять в предынфарктном состоянии.

Выход прост – нужен помол. Простейшая шаровая или вибромельница не только отлично гомогенизирует смесь песка с цементом насухо, но и дополнительно ее активизируют. Если вместо песка применяется зола-унос или доменные шлаки, помол поможет раскрыть потенциал их вяжущих свойств. Такая активированная и гомогенизированная смесь вяжущего и наполнителя обладает очень высоким запасом прочности, что позволяет изготавливать отличный пенобетон при очень незначительном содержании вяжущего или при использовании низкокачественных вяжущих, вплоть до горелой шахтной породы.

Обязательный помол шихты предопределяет, что технология сухой минерализации возможна не в полукустарных, а только в заводских, промышленных условиях.

Кратко можно сформулировать следующие выводы относительно технологического регламента производства пенобетона по методу сухой минерализации:

- производство пенобетона по этому методу возможно исключительно на пенах кратностью до 15;
- управление характеристиками пенобетона, получаемого по методу сухой минерализации, осуществляется исключительно изменением кратности применяемой пены, а не ее количеством, как во всех остальных методах;
- наиболее приемлемым для метода сухой минерализации является пенообразователь СДО (либо его искусственный аналог), реализующий хемсорбционные эффекты упрочнения пены;
- обязательным атрибутом метода сухой минерализации является технологический передел по помолу сырьевой шихты.

1.2.2.2 Технологический регламент «традиционная технология»

Выше было сказано, что метод сухой минерализации основывается на том, что структура «мокрой» (низкократной) пены фиксируется минерализатором. В итоге получается ячеистый бетон, который полностью наследует структуру пены. По этому технологическому регламенту характеристики ячеистого бетона (плотность, характер организации порового пространства, величина пор и т.д.) целиком и полностью регулируются путем изменения кратности пены.

Если кратность пены превышает 15, то такие (уже «сухие») пены невозможно применять в методе сухой минерализации – в них недостаточно воды, чтобы обеспечить химическую реакцию гидратации цемента.

В то же время пены с кратностью выше 15 отличает достаточно высокая стойкость. Это результат того, что при такой кратности пена представляет собой пространственную ячеисто-пленочную структуру, состоящую из пор-многогранников (а не из круглых пор, как в «мокрых» пенах). В таких пенах практически отсутствует свободная жидкая фаза, поэтому они достаточно стойкие сами по себе. Более того, они способны (до известного предела, разумеется) противостоять и внешнему разрушительному воздействию, например, в процессе перемешивания с цементным раствором. Поэтому на пенах кратностью выше 15 основан принцип производства пенобетона по традиционному методу: отдельно приготовленная пена смешивается с отдельно же приготовленным цементным (или цементно-песчаным) раствором. Причем вода, необходимая для гидратации цемента, вводится в систему не в составе «мокрой» пены (как в методе сухой минерализации), а в составе раствора.

В традиционной схеме параметры пенобетона регулируются не изменением кратности пены, а изменением соотношения между пеной и раствором в составе пеномассы.

Такой подход более капризен, чем простое изменение кратности пены. Ведь пропорции между пеной и раствором в составе пеномассы могут изменяться в достаточно широких пределах. Причем эта изменчивость зависит от нескольких факторов, а именно:

1. Начальное соотношение пены и раствора. Ну, здесь все ясно: в смеситель загружается определенная порция раствора, затем оставшееся место полностью заполняется пеной. Единожды установленные пропорции обеспечивают стабильность соотношения между пеной и раствором.

2. В процессе перемешивания пена, какой бы стойкой она ни была, все равно разрушается. И если в методе сухой минерализации мы попросту фиксируем структуру пены (закрепляем ее цементным камнем), то в традиционной схеме изначальную структуру пены трансформируем в пеноструктуру определенной кратности – в зависимости от требуемой плотности пенобетона. Коэффициент трансформации обычно лежит в пределах 1.5–2.5. Процесс трансформации длится весь период перемешивания, поскольку пена разделяется, обволакивается цементным тестом и разрушается при этом.

На процесс трансформации пены в составе пеноминеральной смеси очень сильно влияют:

- а) Длительность перемешивания. Если долго вымешивать, то можно разрушить всю пену и вообще не получить поризованной пеномассы. Поэтому данный технологический регламент очень жестко нормирует время перемешивания. В идеале, чем меньше, тем лучше.
- б) Скорость перемешивания. Тоже очень жестко регламентируется технологическим регламентом. Опять-таки, чем меньше окружная скорость движения смесительных лопаток, тем лучше.
- в) Характер циркуляции смешиваемой пеномассы в смесителе и форма смесительных лопаток.
- г) Тиксотропные характеристики смеси – подвижность, вязкость, пластическая вязкость и т.д. В этом случае становятся очень значимы параметры В/Ц, водопотребности заполнителей и вяжущего, присутствие пластификаторов-разжижителей и т.п.
- д) Стойкость пены сама по себе. Получение более стойких пен требует введения в них специальных стабилизаторов, загустителей и т.п. в целях обеспечения стойкости.

Так как часть пены в процессе вымешивания пеномассы будет неизбежно разрушена, то цементная смесь обогатится некоторым количеством незадей-

стованного пенообразователя, а это очень сильный замедлитель схватывания и твердения цемента. Поэтому всегда нужно стремиться к минимальному разрушению пены и к максимально возможному приближению кратности исходной пены к кратности результирующего пенобетона. Обеспечение такого условия, особенно если учесть, что все вышеперечисленные процессы антагонистичны (работают друг против друга), и является основой утверждения, что производство пенобетона очень простое, но и очень капризное. Иногда даже цемент одного завода, но из разных партий, способен разрушить этот хрупкий баланс – в итоге брак. Я уж не говорю о разной НГ (нормальной густоте) разных цементов, о перманентной войне пенообразователей с ускорителями и пластификаторами.

Поэтому для традиционного метода, как ни для какого иного период отладки технологического регламента занимает немало времени. И очень полезно знать при этом физику процесса на уровне теории, чтобы не бросаться из одной крайности в другую.

Для этого технологического регламента практически неприменимы рецептурно-технологические наработки со стороны. Различные готовые рецепты от «прожженных практиков» ничего не значат, если нет возможности (а ее, как правило, никогда не бывает) в точности и неукоснительно соблюсти ВСЕ начальные условия, начиная от температуры в цеху, и заканчивая характеристиками используемых ингредиентов, или грамотно подкорректировать типовой регламент в соответствии с местными реалиями.

Но знание физики процессов, знание теории позволяет наметить пути оптимального решения проблемы.

1.3 Общие принципы изготовления пенообразователей

Издавна человечество применяет в быту мыло. Изготовить его достаточно просто, достаточно смешать с мылом любой растительный или животный жир. В результате химической реакции образуется мыло и глицерин.

С развитием промышленности стало возможным модифицировать этот процесс. Жир теперь расщепляют; предварительно от него отделяют такой ценный химический продукт, как глицерин. Остается жирная кислота – основной компонент для производства мыла. В состав растительных и животных жиров входят много разных жирных кислот, но основными из них все же считаются олеиновая, линолевая, пальмитиновая и стеариновая. Если любую из этих кислот (или их смесь) соединить со щелочью, получится новый продукт – мыло.

При производстве мыла используют как натриевую, так и калиевую щелочь. Натриевые мыла получаются твердыми – ими вы каждый день умываетесь.

Калиевые – жидкие, они особенно удобны в парфюмерии. В промышленности также очень широко применяют различные мыла, но в основном на натриевом основании. Просто едкий натр в несколько раз дешевле, чем едкое кали. Но если нужно значительно увеличить выход пены, используют все же мыла на калиевом основании, поскольку этот показатель у них в 2–5 раз выше.

Используя в качестве пенообразователей мыла на основе жирных кислот, многие начинающие пенобетонщики, образно говоря, сложили головы. Этот же вопрос обсуждается и на интернет-форумах, посвященных пенобетонам; именно там родилось предложение применять для получения пены специальным образом подготовленную воду. Один советует артезианскую, другой дистиллированную, третий вообще предпочитает только освященную в церкви.

Годами бьются, не могут толком понять, почему пена получается распрескшая, а пенобетон из нее – просто никакой?

Все дело в том, что и калиевые, и натриевые мыла на основе жирных кислот в жесткой воде быстро осуществляют замещающие реакции с ионами кальция, превращаются в кальциевые мыла. А они не растворяются в воде! Если вы пробовали мыть руки мылом в морской воде, то знаете, – оно почти не пенится. То же самое происходит и с уже готовой пеной. Смешанная с цементной суспензией (а там ионов кальция хоть отбавляй), она быстро разрушается.

Что же делать? А решение тут одно – пенообразователи на основе жирных кислот в традиционной технологии производства пенобетонов нельзя применять категорически.

1.3.1 Пенообразователь на основе смоляных кислот – клееканифольный пенообразователь

Кроме жирных кислот, существуют еще смоляные, нефтяные и нафтеновые. Их тоже можно омылить щелочами и получить соответствующие мыла. Причем эти мыла в присутствии кальциевых солей свою пенообразующую способность не уменьшают, а увеличивают! Как раз то, что нужно.

Но где ее брать, эту смоляную кислоту? Все очень просто. Смесь абиетиновой, дигидро-, тетрагидро- абиетиновой, паллустровой и левопимаровой кислот – это всем известная канифоль. Если ее омылить щелочью, получится канифольное мыло. Если тепловой полимеризацией из канифоли выделить абиетиновую кислоту, а затем ее омылить, получится абиетат натрия, он же советская СНВ (Смола Нейтрализованная Воздухововлекающая), он же американский «Винсол».

Для изготовления пенобетонов вполне достаточно будет простого канифольного мыла. Но использовать его в чистом виде, без добавок, нецелесо-

образно, потому что пена получается нестойкая. В процессе перемешивания с цементной суспензией она разрушается. Для повышения ее стойкости необходимо увеличивать вязкость пенообразователя. На это способен любой природный коллаген. В кулинарии и парфюмерии для увеличения стойкости получаемых пен используют агар-агар. В нашем случае будет вполне достаточно обыкновенного столярного клея.

В итоге получаем так называемый клееканифольный пенообразователь. С достаточной уверенностью можно утверждать, что большая часть пенобетонов в СССР изготовлена именно с его помощью.

1.3.1.1 Технологический регламент приготовления клееканифольного пенообразователя

(Приводится по Инструкции И-194-54 МПСМХП от 1954 г.)

Состав: клей костный, канифоль, едкий натр (сода каустическая), вода.

На 1 кубометр пенобетона объемным весом 900–1200 кг/м³ требуется:

канифоли – 0.060 кг;

едкого натра – 0.016 кг;

клея костного – 0.063 кг

Клееканифольный пенообразователь применяют в форме эмульсии. Для ее приготовления готовят отдельно клеевой раствор и канифольное мыло.

Приготовление клеевого раствора состоит в том, что куски клея размером 2–4 см в течение суток замачивают в воде в весовом отношении 1:10, после чего его нагревают в этой же воде при температуре на выше 60 °С до полного растворения кусочков.

Одновременно готовят канифольное мыло, для чего раствор едкого натра удельным весом 1,17 кипятят. Во время кипячения, при непрерывном помешивании, в раствор постепенно добавляют канифоль, раздробленную и просеянную через сито с отверстиями до 5 мм. На 1 литр раствора едкого натра расходуется около 1,6 кг канифоли. Кипячение смеси продолжается 1,5–2 часа, до полного растворения канифоли.

Полученное канифольное мыло охлаждают до 60 градусов и выливают небольшими порциями в клеевой раствор, тщательно перемешивая.

Смешение канифольного мыла и раствора клея производят в весовой пропорции 1:6.

Клееканифольная эмульсия пенообразователя считается готовой, когда канифольное мыло полностью растворится в клеевом растворе.

В свое время приведенный выше простейший рецепт изготовления клееканифольного пенообразователя произвел эффект разорвавшейся бомбы – после его опубликования в Интернете на всех форумах, посвященных производству

пенобетона, напрочь исчезли шарлатанские предложения по продаже разного рода «секретных рецептов». Действительно, что такого секретного в вышеприведенной рецептуре, тем более что она доступна любому пользователю Интернета? Между тем, на форумах возникали и уточняющие вопросы.

«Можно ли при приготовлении пенообразователя едкий натр заменить содой каустической?»

Да, можно. Едкий натр NaOH производится в виде технического (т.), чистого (ч.), чистого для анализов (чда.). Они отличаются друг от друга только количеством посторонних примесей. Для приготовления пенообразователя годится любой из них. В том числе и с маркировкой «технический».

Технический едкий натр называют также содой каустической, или каустиком.

«Влияет ли качество канифоли на качество пенообразователя?»

Да, влияет. Причем достаточно существенно. Вполне вероятно, что в одних случаях пенообразователь, приготовленный по приведенному выше рецепту, покажет блестящие результаты, а в других – не очень. И виновником такой нестабильности будет именно канифоль.

Все дело в том, что она бывает трех видов: живичная, экстракционная и талловая. Качественный состав смоляных кислот различных видов канифоли практически одинаков. Количественные же соотношения между смоляными и жирными кислотами, а также, самое главное, содержание в них неомыляемых продуктов, имеют большие различия. Так, в живичной канифоли смоляных кислот больше всего – до 96%. В экстракционной их всего 70%. Остальное – жирные кислоты и другие примеси.

Приведенная выше рецептура рассчитана именно на применение качественной живичной канифоли.

Более правильной все же следует считать методику, когда количество щелочи, необходимое для омыления канифоли, рассчитывается по ее кислотному числу.

«Влияет ли длительное хранение на качество приготовленного клееканифольного пенообразователя?»

Да, влияет. Если количество щелочи, взятой для приготовления пенообразователя, оказалось больше, чем потребно по кислотному числу канифоли (попалась некачественная, например), то в процессе длительного хранения начинают омыляться также эфиры канифоли. И совершенно непредсказуемо в этом случае ведет себя костный клей – некоторые его составляющие, в частности жирные кислоты, также могут полностью омылиться при длительном хранении. В результате пенообразующая способность пенообразователя возрастет, а стойкость пены снизится. Или наоборот.

Кроме того, клееканифольный пенообразователь склонен к загниванию, поэтому его необходимо хранить в прохладном месте не более 20–30 дней.

«Как влияет клееканифольный пенообразователь на кинетику набора прочности пенобетоном?»

В начальный период поверхностно-активные вещества, являющиеся основной частью пенообразователя, достаточно сильно влияют на гидратацию цемента. Происходит своего рода «отравление» цемента. Объясняется это тем, что в процессе кристаллизации новообразований из цементного геля между ними образуются коллоидные адсорбционные оболочки из пенообразователя. Они препятствуют непосредственному срастанию зерен друг с другом и тормозят образование прочного пространственного каркаса.

Для ускорения процессов гидратации цемента в бетоне, в том числе и при производстве пенобетона, обязательно следует использовать специальные добавки – ускорители. Помимо увеличения скорости набора прочности эти добавки могут также вызвать появление усадочных трещин, существенно снизить осадку пенобетона и отпускную прочность.

1.3.2 Пенообразователь на основе природных сапонинов – сапониновый пенообразователь

На заре становления пенобетонных технологий, 60 лет назад, еще не существовало высокоэффективных синтетических пенообразователей, применяемых сейчас. И, тем не менее, пенобетон, изготовленный нашими дедами, по многим параметрам не уступает, а то и превосходит продукцию внуков. Главный секрет, конечно же, в высоком профессионализме предков. Немаловажен и правильный подбор рецептуры пенобетонной массы. И в первую очередь, конечно, природа и состав пенообразователя. Еще совсем недавно в качестве пенообразователей применялись всего два состава – клееканифольный (мы рассмотрели его ранее) и сапониновый.

Главная прелесть сапониновых пенообразователей, особенно для сельской глубинки, – дешевизна и доступность. Килограмм обыкновенных каштанов после простейшей обработки даст полтора куба высококачественной мелкоячеистой пены. А пара-тройка каштановых деревьев решит проблему местных пенообразователей и для колхозного мини-заводика.

Сапонами называются вещества растительного происхождения, обладающие ярко выраженной способностью к пенообразованию в водных растворах подобно мылу (Sapo – по латыни «мыло»). Сапонины известны давно. Первые упоминания о них как о мыльных веществах относятся к 1575 году. Из-за способности к обильному пенообразованию сапонины с незапамятных времен

применяются как моющие средства. В особенности они хороши для стирки нежных и окрашенных тканей, которые не рекомендуется стирать мылом. Многие средства для чистки одежды и выведения пятен содержат сапонины. Их также употребляют для производства эмульсий, паст для бритья, средств для мытья волос и т.д. Большое значение сапонины имеют в медицине. Вследствие этого сведения о сапонах чаще встречаются в медицинской и фармацевтической литературе, чем в технической.

Для получения чистых сапонинов из растительных веществ существует множество способов. Но все они основаны на обработке различными реагентами водных или спиртовых вытяжек, полученных путем кипячения растительного сырья. Ввиду того, что для получения пены при производстве пенобетонов чистые сапонины не нужны, процесс их получения значительно упрощается.

Получить сапониновые пенообразователи очень просто: следует извлечь природный сапонин из содержащих его растений. Делается это путем длительного вымачивания растительного сырья в воде. При повышении температуры, а тем более в случае кипячения, процесс значительно ускоряется.

Всякий раз равновесная концентрация сапонины в исходном сырье и воде выравнивается. Иными словами, за один раз извлечь весь сапонин не получится. Нужно слить воду с перешедшим в ней некоторым количеством сапонины в отдельную емкость, а сырье вновь залить чистой водой. И так несколько раз.

Полученные водные растворы со все уменьшающимся количеством растворенного в них сапонины нужно смешать вместе. Полученный раствор будет иметь некую усредненную концентрацию и готов к непосредственному применению.

1.3.2.1 Источники природных сапонинов

Сапонины широко распространены в растительном мире. Они обнаружены в растениях, относящихся приблизительно к 70 семействам и 400 видам, произрастающих в самых разнообразных климатических условиях – от тропиков до умеренного пояса. Но практическое значение имеют только растения со значительным содержанием сапонины:

1. *Lychnis Chalcedonica* – мыльная трава (татарская мыльная трава). Произрастает в степной полосе европейской части России, в Украине, Кавказе, в Западной и Восточной Сибири. Встречается по сырым лугам возле воды. Наибольшее количество сапонинов содержат листья – до 23 %.
2. *Sapindus Saponaria* – мыльное дерево. Произрастает в тропических странах. У нас растет в Закавказье. Для извлечения сапонинов наиболее пригодны плоды – до 38 % сапонинов.
3. *Aesculus Hippocastanum* – конский каштан. Разводится в декоративных целях и хорошо растет в умеренном климате России и Украины. Наи-

более богаты сапонином плоды. В скорлупе – до 11 %, а в мякоти плодов – до 6 % сапонинов.

4. *Acanthophyllum Glandulosum* – мыльный корень. Дикорастущее многолетнее травянистое растение, произрастающее в Средней Азии и Закавказье. В корнях этого растения содержится до 32 % сапонины.
5. *Cyclamen Lbericum* – альпийская фиалка. Растет в предгорьях Кавказа и Закавказья. Сапонин (до 25 %) содержится в корнях растений, имеющих форму клубней.
6. *Saponaria Officinalis* – мыльнянка, многолетнее дикорастущее растение, произрастающее в южной и средней части России и Украины. Корни мыльнянки толщиной 2–3 см содержат до 36 % сапонины.
7. *Melandrium Album* – горицвет. Дикорастущее растение, широко распространено в Украине, на Кавказе, в Сибири и европейской части России вплоть до Московской области. Корни горицвета содержат до 28 % сапонины очень хорошего качества, поэтому это растение искусственно культивируется как сырье для фармацевтической промышленности.

Обсуждение сапониновых пенообразователей на Интернет-форумах, посвященных производству пенобетона, выявило несколько уточняющих аспектов применения сапониновых пенообразователей.

«Как воздействуют сапонины на человека и окружающую среду?»

Степень ядовитого действия сапонинов на человеческий организм зависит от их природы. Наиболее активные (и вместе с тем наиболее ядовитые) сапонины называются сапотоксинами. Они содержатся в змеином яде.

Сапонины, содержащиеся в растениях, для человека практически безопасны – только их внутривенное введение способно отразиться на здоровье. В виде пыли сапонины действуют раздражающим образом на слизистые оболочки дыхательных органов, вызывая сильное чихание и ощущение царапания в горле. Сапонины имеют острый, часто жгуче горький, долго остающийся вкус.

Для всех рыб сапонины ядовиты даже в ничтожнейших дозах. Этот фактор является одним из методов качественного определения наличия сапонинов.

«Каков срок пригодности пенообразователя на основе водной вытяжки из сапонинсодержащих растений?»

Водные экстракты из растений, содержащих сапонин, представляют собой хорошую питательную среду для различных бактерий. Кроме того, в раствор переходят особые ферменты, расщепляющие сапонины. Если не применять специальных мер, то даже при непродолжительном хранении, под воздействием бактерий и ферментов, сапонины разлагаются. При этом наблюдается помутнение раствора и образование осадка. Пенообразующая способность очень сильно падает, что является первопричиной некачественного пенобетона.

Раствор		Объем пены (в см ³)	
		через 1 мин.	через 3 мин.
Вода чистая		0	0
Водный раствор сапони́на	0,01 % концентрации	150	150
	0,05 % концентрации	250	225
	0,10 % концентрации	256	225
	0,50 % концентрации	275	250
	1,00 % концентрации	375	375
	2,00 % концентрации	300	300
Мыло ядровое (для сравнения)		275	250

Таблица 1.3.2.1-1

Для повышения сохранности водных растворов сапони́нов их подвергают кипячению в течение 1–2 часов. В процессе кипячения или непосредственно после него к раствору следует добавить консервант. Экспериментально установлено, что наилучшими консервантами для водных вытяжек сапони́нов являются фенол или формалин в дозировке 0,2–0,3 % от массы сапони́на (по сухому веществу).

«Какова оптимальная концентрация сапони́на в пенообразователе для изготовления пенобетона?»

Зависимость выхода пены от концентрации сапони́на в растворе проверялась по методу Штипеля, принятому в Московском филиале ВНИИЖ (механическое взбалтывание 10 мл раствора в градуированной делительной воронке), и отражена в *таблице 1.3.2.1-1*.

Из приведенной таблицы следует, что выход пены из растворов сапони́нов нелинейно повышается с увеличением их концентрации до 1 %. При дальнейшем увеличении концентрации выход пены уменьшается.

Для технических целей следует признать оптимальной концентрацию 0,05 % – дальнейшее ее повышение объем пены увеличивает незначительно.

«Какие существуют способы улучшения пенообразователя на основе природных сапони́нов?»

Для изучения влияния отдельных модификаторов на пенистость сапони́новых растворов были исследованы некоторые вещества, типичные представители своих групп: контакт Петрова (нефтяные сульфокислоты), ализариновое масло (жирные кислоты), сода (минеральные соли). Установлено, что минеральные соли несколько увеличивают пенистость сапони́нов – на 10–15%, жирные кислоты примерно на столько же ее снижают, а нефтяные оставляют неизменной.

При вымачивании растительного сырья в раствор, кроме сапонинов, переходит и много красящих и дубильных веществ, способных даже в малых концентрациях сильно снизить скорость набора прочности пенобетоном. Для их удаления в водные вытяжки сапонинов следует добавлять известь – помимо окиси кальция в ней обязательно присутствует и небольшое количество окиси магния, которая хорошо связывает и осаждает красящие и дубильные вещества. После отстаивания осадок легко отфильтровывается от основной массы раствора.

1.3.3. Пенообразователи на основе животных белков – пенообразователь ГК

Пенообразователи из природных соединений на основе растительного сырья и животных продуктов используются человеком для мытья и стирки, приготовления пищи и некоторых технологических процессов уже несколько тысячелетий. В жарких районах Кавказа, Средней Азии, Африки, Южной Америки издавна широко применялся мыльный корень. Это корень растения сапониноса, содержащего легко извлекаемый водой сильный пенообразователь – сапонин. Корень очищали, сушили, размалывали. Полученный порошок смешивали с глиной и формовали кусочки «мыла», которое хорошо мылилось, давая пену в мягкой и даже жесткой воде.

К числу известных эффективных природных пенообразователей относятся также смеси полисахаридов морских водорослей – агар-агар. Известно несколько десятков водорослей, из которых агар-агар получают в промышленном масштабе. Все они содержат его в виде солей щелочных или щелочноземельных металлов. Он и сейчас широко применяется в кондитерской промышленности и медицине в качестве пенообразующего и железирующего средства, а также стабилизатора.

Но наиболее устойчивые пены образуются на основе белковых пенообразователей, получаемых из разнообразных веществ либо полностью состоящих из белка, либо содержащих его в значительных количествах. Эти белки извлекаются из крови животных, кожи, костей, рогов, копыт, щетины, перьев, рыбьей чешуи, жмыха масличных культур, а, кроме того, из продуктов, получаемых из молока.

При производстве пенообразователей из животных белков последние предварительно гидролизуют, так как продукты их гидролиза обладают гораздо более высокой пенообразующей способностью, чем исходные белки и протеины. Для этого их подвергают тепловой обработке, как правило, в щелочной среде. Причем гидролиз не доводят до конца, поскольку продукты конечного распада белков – аминокислоты – хотя и являются достаточно сильными пенообразователями, но дают неустойчивую, быстро разрушающуюся пену.

Все белковые пенообразователи представляют собой питательную среду для различного рода микроорганизмов. Поэтому в их состав вводят антисептики – фториды или фенол. Без них пенообразователи быстро теряют свои свойства и загнивают.

Промышленность выпускает пенообразователи на основе белкового сырья (ПО-6, ПО-7 и др.), приготавливаемые путем многостадийной обработки. Так, при производстве пенообразователя ПО-6 кровь, получаемая с мясокомбинатов, вначале гидролизуются едким натром, затем нейтрализуются хлоридом аммония или серной кислотой. Полученный раствор упаривается до заданной концентрации. Для повышения устойчивости пены в состав пенообразователя вводят сульфат железа.

При производстве пищевых продуктов используют пенообразователи на основе яичного белка и молочных продуктов. По пенообразующим свойствам не уступают яичному белку выжимки из семян сои и хлопчатника, экстракт чая. Для повышения устойчивости пищевых пен, как правило, вводят стабилизаторы – казеин, альгинаты, желатин и т.д.

1.3.3.1 Технологический регламент приготовления пенообразователя ГК (пенообразователь ПО-6)

Состав: гидролизованная боенская кровь, сернокислосое железо, едкий натр, аммоний хлористый.

На 1 м³ пенобетона объемным весом 800 кг/м³ расходуется 1,5 кг гидролизованной крови и 0,05 кг сернокислого железа.

Приготовление пенообразователя ГК состоит из следующих операций:

- получение 20-процентного едкого натрия;
- гидролиз технической боенской крови;
- нейтрализация раствора гидролизованной крови;
- приготовление 15 %-ного раствора сернокислого железа;
- смешивание гидролизованной крови с сернокислым железом.

Для получения 20 %-ного раствора едкого натрия его растворяют в таком количестве воды, чтобы удельный вес раствора при +20 °С был равен 1,23.

Для гидролиза боенской крови ее заливают в котел и добавляют такое количество 20 %-ного водного раствора едкого натрия, чтобы при пересчете на сухое вещество его оказалось 2% по отношению к крови, взятой для гидролиза.

Пример:

Взято 200 кг боенской крови. Следовательно, сухого натрия требуется около $0,02 \cdot 200 = 4$ кг.

1 кг 20 %-ного водного раствора едкого натрия содержит 0,2 кг сухого едкого натрия. Для получения 4 кг сухого едкого натрия требуется взять $4/0,20 = 20$ кг 20 %-ного водного раствора едкого натрия.

Полученный щелочной раствор крови нагревают 2 часа при температуре +80–90 °С.

Нейтрализацию гидролизованной крови производят хлористым аммонием, которого требуется для этого в 1,34 раза больше, чем сухого едкого натрия, употребленного для гидролиза технической крови. После нейтрализации гидролизованной крови раствор должен остыть до комнатной температуры.

Для приготовления 15%-ного раствора сернокислого железа в кипяченой воде, охлажденной до +40–50 °С, растворяют сернокислое железо при частом перемешивании смеси. На 1 литр воды берут 177 г сернокислого железа.

Для получения готового пенообразователя смешивают остывшую гидролизованную кровь с 15%-ным водным раствором сернокислого железа в соотношении 1:0,3 по объему. При этом раствор сернокислого железа вливают в раствор гидролизованной крови небольшими порциями при тщательном перемешивании. Затем, спустя сутки, отстоявшийся пенообразователь сливают в тару, а оставшийся на дне осадок выбрасывают.

Полученный пенообразователь ГК (срок хранения не более полугода) хранят в закрытых деревянных, стеклянных или глиняных сосудах при комнатной температуре.

Белковые (протеиновые) пенообразователи снискали добрую славу у пенобетонщиков как у нас, так и за рубежом. Поэтому не удивителен обвал вопросов и уточнений по технологическому регламенту их производства, который последовал сразу после опубликования приведенных выше материалов в Интернете.

«Гидролиз крови в присутствии едкого натра рекомендуется проводить при температуре +80–90 °С. Насколько критичен этот температурный диапазон?»

Чем выше температура, при которой происходит гидролиз, тем скорее он завершится. Но следует обязательно учитывать, что в процессе гидролиза белки последовательно расщепляются до аминокислот. А те, в свою очередь, разрушаются под воздействием высокой температуры. Крайний случай: если длительное время кипятить гидролизующуюся кровь, можно вообще не получить никакого пенообразователя. В то же время белковые составы способны значительно увеличивать свою пенообразующую способность под воздействием длительного, но не очень сильного нагревания.

С учетом вышесказанного, гидролиз крови следует вести при возможно низкой температуре (примерно +70–80 °С), постоянно контролировать ее термометром и ни в коем случае не доводить раствор до кипения.

«Какую кровь предпочтительней использовать для приготовления пенообразователя ГК?»

Кровь можно использовать любую. Если есть возможность выбора, следует отдать предпочтение говяжьей – в ней меньше жиров. Соответственно, меньшее

количество едкого натра израсходуется на их омыление, в ущерб основному процессу – гидролизации белков и протеинов.

И хотя омыленные жирные кислоты также очень хорошие пенообразователи, в этом случае для полной гидролизации белков и протеинов крови едкого натра потребуется несколько больше. Насколько – можно сказать только после лабораторного анализа состава крови. Как правило, столь сложные лабораторные исследования либо дороги, либо вообще недоступны.

Кроме того, отдельные продукты гидролизации жиров способны выступать в качестве эффективных пеногасителей, что уменьшит кратность получаемой пены.

«Можно ли использовать свернувшуюся кровь?»

Да, можно – это никак не отразится на качестве пенообразователя. Но если она уже начала портиться (появился гнилостный запах), следует воздержаться от использования подобного сырья.

«Чем можно заменить хлористый аммоний?»

В результате взаимодействия крови и едкого натра образуется сильный щелочной раствор ($\text{pH} > 12$). Для того чтобы впоследствии ввести в него стабилизатор пены – сернокислородное железо, исходный состав требуется нейтрализовать до $\text{pH} = 7$. В исходном технологическом регламенте на приготовление пенообразователя ГК, его изобретатель, кандидат химических наук, лауреат Сталинской премии Л.М. Розенфельд, предложил использовать хлористый аммоний – достаточно распространенное и безопасное в обращении вещество.

Для нейтрализации можно также с успехом применить и другие «кислые» соединения – соляную и серную кислоту и др. Их количество можно подсчитать по формуле:

$$A = BX/C,$$

где

A – количество реактива, необходимого для нейтрализации,

B – молекулярный вес реактива, выбранного для нейтрализации,

C – молекулярный вес едкого натра NaOH – 39.997,

X – количество едкого натра затраченного на гидролизацию.

Для справки, молекулярные веса реактивов, пригодных для нейтрализации:

хлористый аммоний NH_4Cl – 53.491;

соляная кислота HCl – 36.461;

серная кислота H_2SO_4 – 98.078.

«Как отражается концентрация пенообразователя ГК на кратность и устойчивость пены?»

Устойчивость пены, полученной из пенообразователя ГК, в отличие от других пен (алюмосульфонафтенной, клееканифольной), имеющих максимум

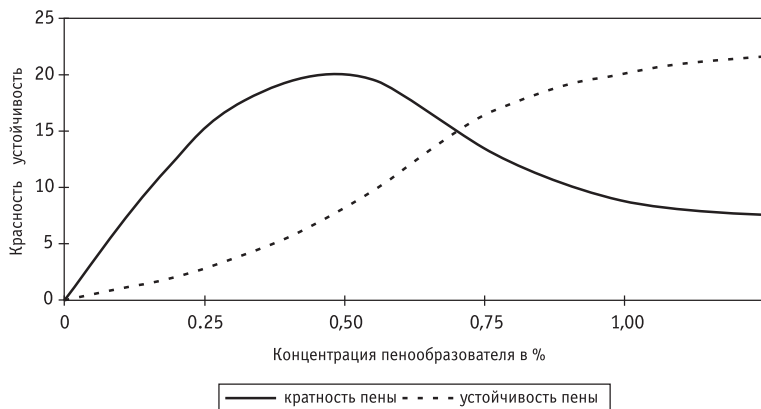


Рис. 1.3.3-1 Зависимость кратности и устойчивости пены, полученной из пенообразователя ГК в отсутствие стабилизатора (сульфата железа)

устойчивости при концентрации 0,25–0,3%, возрастает с увеличением концентрации. Это объясняется тем, что пленки пены пенообразователя ГК быстро охлаждаются. И здесь обязательно надо учитывать, что кратность получаемой пены при этом заметно снижается.

Эта интересная зависимость, позволяющая достаточно гибко управлять параметрами получаемой пены (и при желании поэкспериментировать в поисках оптимума), отражена на графике (см. рис. 1.3.3-1).

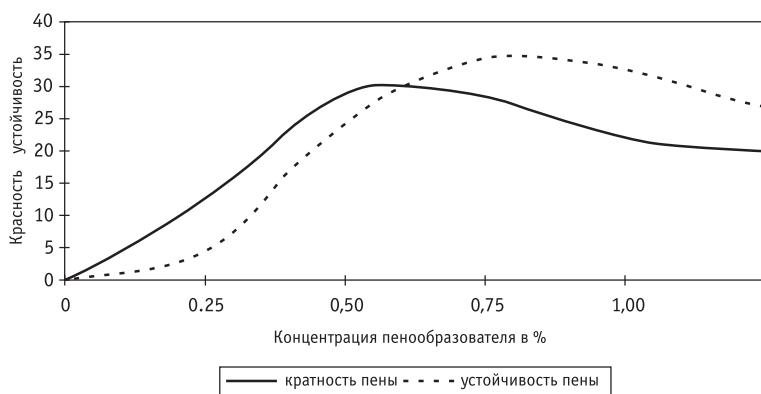


Рис. 1.3.3-2 Зависимость кратности и устойчивости пены, полученной из пенообразователя ГК с добавкой 3% стабилизатора (сульфата железа)

«Какова роль сернокислого железа в пенообразователе ГК?»

Анализ предыдущего графика показывает, что характеристики изменения кратности и устойчивости пены при изменении концентрации пенообразователя ГК не соответствуют друг другу. Сернокислое железо, вследствие образования комплексной соли белка и сернокислого железа, меняет характер кривых изменения кратности и устойчивости в зависимости от концентрации пенообразователя. На основании серии экспериментов было установлено, что дозировка в 3,0% – оптимальное количество сернокислого железа, при котором возможно достичь оптимума как по кратности, так и по устойчивости полученной пены (см. *рис. 1.3.3-2*).

«Чем можно заменить сернокислое железо?»

Сернокислое железо (железный купорос) можно с тем же успехом заменить другими сернокислыми солями – сернокислым алюминием или сернокислой медью (медным купоросом).

«Что представляет собой белковый пенообразователь, изготавливаемый из отходов жизнедеятельности животных и рекламируемый на некоторых сайтах, посвященных производству пенобетона?»

На сегодняшний день науке известен только один из них – фекалии. Тонкие ценители всегда находят им достойное применение, но народная мудрость предостерегает от столь опрометчивого шага. Делать из них пенообразователи пока еще никто не додумался. Подобные рекомендации на сайтах могут свидетельствовать лишь о низком уровне рекламно-сопроводительной информации на белковый пенообразователь, который изготавливается не из отходов жизнедеятельности, а из отходов переработки животных.

«Что обусловило выбор именно крови для производства белкового пенообразователя? Есть ли ей замена?»

Действительно, белковые пенообразователи можно приготовить из многих веществ – отходов переработки животного и растительного сырья. Но только в боенской крови сочетаются наиболее оптимальные характеристики, обуславливаемые как технологичностью производства, так и составом сырья.

Белок, содержащийся в крови, изначально существует в форме водного раствора. Соответственно, не нужно применять дополнительные меры по измельчению сырья. И только в крови процентное содержание белков и протеинов самое высокое по сравнению с другими отходами, применение которых возможно для изготовления белковых пенообразователей. Например, в льняном жмыхе 35% белков и протеинов, в хлопковом – 45%, в подсолнечном – 52%.

Отходы скотобоен и рыбоперерабатывающих предприятий (рога, копыта, кишечные шлямпы, рубцовые каньги, чешуя, рыбная и мясокостная мука и т. д.)

содержат всего 8–10 % белков. А вот кровь животных и альбумин кровяной технический содержат белков до 85 %.

«В литературе встречаются противоречивые толкования по поводу гидрофобности пенобетонов, полученных на основе белковых пенообразователей. В одних случаях утверждается, что такие пенобетоны отличает очень малое водопоглощение, в других, – что все как раз наоборот».

В процессе получения пены из водного раствора любого белкового пенообразователя, в том числе и ГК, получаются воздушные ячейки, адсорбционный слой которых содержит производные белка и железа. В щелочной среде, которая обязательно сопровождает любые композиции на основе извести или цемента, ионы железа из двухвалентных переходят в трехвалентные. Образовавшемуся в результате этой реакции гелю гидрата окиси железа присущи характерные для всех гелей особенности, и в первую очередь гидрофильность. Из окружающей среды он активно адсорбирует влагу, которую впоследствии трудно удалить даже при прокаливании. Соответственно, и пенобетон, приготовленный на белковом пенообразователе, будет иметь большое водопоглощение, достигающее до 70 % от массы изделия.

Если изготовление пенобетона предполагает обязательную последующую тепловлажностную обработку в пропарочной камере или автоклаве, картина кардинальным образом меняется. При нагреве до +80–85 °С гель гидрата окиси железа (гидрофильный коллоид) необратимо переходит в золь гидрата окиси железа (гидрофобный коллоид). Под воздействием нагревания все золи способны существенно снижать свою вязкость. Благодаря этому золь гидрата окиси железа проникает в мельчайшие поры и капилляры цементного теста, и после охлаждения пенобетона снова превращается в малоподвижную вязкую массу в виде тончайших, теперь уже гидрофобных, перегородок и мембран, пронизывающих всю толщу изделия на капиллярном уровне. Такой пенобетон обладает очень малым водопоглощением, хорошей морозостойкостью и отличными теплофизическими характеристиками.

Многих начинающих пенобетонщиков, работающих по схеме, не предусматривающей тепловлажностную обработку изделий в автоклавах или пропарочных камерах, незнание вышеприведенной особенности поведения белковых пенообразователей приводит к плачевному результату. На стадии изготовления все прекрасно. На дешевом, простом в изготовлении и технологичном пенообразователе получается вроде отличный пенобетон, с минимальной осадкой при быстром наборе прочности. А на стадии эксплуатации из-за высокого водопоглощения теряются все теплофизические преимущества перед традиционными строительными материалами, вплоть до саморазрушения от пресыщения влагой.

«Насколько распространены в мировой практике пенообразователи для изготовления ячеистых бетонов на основе сырья растительного и животного происхождения?»

На Западе известно много добавок для изготовления пенобетона. Технология их производства обычно охраняется патентами. Так, например, усиленно рекламируются препараты, содержащие как главную составную часть гидролизированные протеины. Сообщается, что пена, изготовленная из них, очень устойчива, не изменяется при переменах температуры и не вызывает коррозию арматуры и закладных элементов. Последовательность их изготовления, охраняемая французским патентом № 1032142, приблизительно такова: протеиновое сырье (отходы скотобоен: рога, копыта, шкура и пр.) при $+100^{\circ}\text{C}$ гидролизуют гидроокисью кальция. Полученное вещество охлаждают и выстаивают в течение 5 суток. Затем фильтруют и нейтрализуют соляной кислотой (помимо нейтрализации происходит образование хлористого кальция) – отличного ускорителя схватывания и твердения. Затем к полученному раствору порциями добавляют сернокислородное железо. Операцию продолжают до тех пор, пока pH не станет равным 7. Добавку этого типа применяют, например, для изготовления пенобетона, носящего фирменное название «Кальси-Крет».

Большую популярность имеют и другие белковые пенообразователи. Исходным сырьем для чешского «Афретана» служат также отходы скотобоен, которые гидролизуют по описанной выше схеме. Особенность этого пенообразователя в том, что гидролиз проводится не до конца, с сохранением в растворе определенного количества альбумина и пептина. Это обуславливает очень высокую устойчивость пены, отсутствие осадка и трещин.

«Влияет ли случайное замораживание на последующие характеристики белковых пенообразователей?»

Обычно пенообразователи – это коллоидные растворы. Замораживание и последующее оттаивание не способны существенным образом отразиться на их пенообразующей способности. Но если в силу тех или иных обстоятельств подобное произошло, перед их использованием следует обязательно учитывать следующие моменты.

Нужно разогреть всю емкость с замерзшим пенообразователем и тщательно его перемешать, а не отбирать последовательно растаявшую часть. Даже незначительные концентрации солей способны быть электролитами. А все электролиты замерзают при более низкой температуре, чем чисто водные растворы. При замерзании происходит так называемое температурное высаливание. При разогреве процесс повторится с точностью до наоборот – и в верхней части емкости концентрация пенообразователя будет совсем не такой, как на дне.

И второй момент. Если для доведения пенообразователя до рабочей концентрации используется горячая вода, следует остудить полученный состав до

комнатной температуры. При повышенных температурах практически все пенообразователи повышают кратность пены, но снижают ее стабильность. Снижение температуры ниже $+20^{\circ}\text{C}$ вызывает обратный эффект: кратность пены снижается, а стабильность растет. Эту особенность поведения пенообразователей следует обязательно учитывать при работе как зимой, так и летом. Отработав технологию производства, следует всегда придерживаться температуры компонентов пенобетона, которая была на тот момент.

1.3.4. Пенообразователи на основе синтетических ПАВ

Работая экспертом на нескольких строительных форумах в Интернете, я получаю множество писем типа «мы изобрели новый революционный пенообразователь», «мы делаем моющие составы для бытовых нужд, хотим их предложить в качестве пенообразователей», «мы получаем хорошие результаты на таком-то составе и хотим его предложить на рынок» и т.д. Завершает подобные письма стандартная просьба – испытать пенообразователь либо рекомендовать организацию, способную такие испытания провести. Разумеется, вопрос оплаты этих работ не оговаривается, – вероятно, из соображений ничтожности финансовых вопросов в сравнении с очередным «изобретением века, способным перевернуть все производство пенобетона».

Более того, многие научные работники также сводят большинство проблем производства пенобетона к задаче правильного выбора нужного пенообразователя.

Хочу предвосхитить подобного рода заблуждение – прежде чем высылать пробные образцы, будьте готовы к тому, что подобного рода исследования очень дороги, длительны и ресурсоемки. И никто в трезвом уме и здравой памяти не возьмется проводить любые, даже самые элементарные исследования без должного финансового обеспечения работ со стороны заказчика.

И пока у разработчика очередного «нового», «новейшего», «лучшего в мире» и т.д. пенообразователя не будет на руках результатов комплексных испытаний, его состав, с коммерческой точки зрения, представляет интерес только для него самого.

Приводимые ниже выдержки из комплексного исследования алюмосульфонафтенowego и клее-некалевого пенообразователей (а это примерно треть первоисточников) помогут определиться вам с примерным объемом и перечнем необходимых исследований. И отрезвят горячие головы: ориентировочная стоимость выполненных подобных работ, в нынешних условиях – более \$35 000. И слава богу, что еще 40 лет назад они были проведены в рамках целевой научно-исследовательской программы и за счет государства.

Эти материалы, я надеюсь, также убедят сомневающихся – можно всячески критиковать социализм, но отказываться от его научного наследия просто глупо.

1.3.4.1. Пенообразователи из нефтяных кислот – алюмосульфонефтяной пенообразователь

Защита от огня запасов жидкого топлива (нефти, керосина, бензина и т. д.) всегда имела огромное значение. Какие бы предохранительные мероприятия ни применялись, опасность пожара всегда имеет место. Поэтому проблема поиска наиболее совершенных методов тушения горящих нефтепродуктов всегда была весьма актуальной.

Впервые метод тушения горючих жидкостей пеной был открыт русским инженером Лораном еще в 1906 г., и с тех пор ученые всех стран, работающие в данном направлении, были озабочены как способами получения огнегасящей пены простыми и эффективными средствами, так и созданием специальных веществ – пенообразователей, пригодных для этого.

В 1933 году немецкими исследователями из фирмы «Тоталь-экспорт» был предложен пенообразователь «Тугоген». Основу его составило поверхностно активное вещество, полученное из сульфированных отходов нефтепереработки. Стабилизатором пены послужила желатина. Этот пенообразователь позволял очень просто получать воздушно-механическую пену и доказал на деле свою высокую эффективность при тушении больших резервуаров с горючими жидкостями. И хотя технология производства была засекречена, этот пенообразователь активно импортировали все страны мира, в том числе и СССР.

Поэтому не удивительно, что, начиная с 1937 г., в Советском Союзе были развернуты широкомасштабные работы по разработке отечественных пенообразователей для получения воздушно-механических пен; близилась война и пожары следовало научиться тушить самостоятельно, без иностранной помощи. Столь ответственная работа была поручена Льву Моисеевичу Розенфельду. Исследуя различные пенообразователи, пригодные для целей пожаротушения, он пришел к заключению, что наиболее оптимальными являются все же ПАВ на основе нефтяных, а не нефтяных кислот. (Ранее мы рассмотрели пенообразователь ГК – его также изобрел Л. М. Розенфельд.) В 1941 г. в СССР вышла первая в мире монография, посвященная вопросам получения и использования пен в пожаротушении.

Производство пенобетонов в большинстве своем ориентировано именно на пожарные пенообразователи – они доступны, дешевы, просты в изготовлении и применении. А солидная финансовая, научная и методологическая поддержка исследований по пожарным пенообразователям со стороны государства позволяет весьма просто и успешно «отщипнуть» кусочек от большой науки для строительных нужд. Ярким примером вышесказанного служит алюмосульфонатный пенообразователь. Изобретенный в СССР еще 60 лет назад он до сих пор остается одним из самых популярных пенообразователей для производства пенобетонов. То, что в тех или иных интерпретациях, под различными торго-

выми марками, все это время он активно предлагается на рынке пенообразователей для производства пенобетонов под видом новейших ультрасовременных составов, только подтверждает его высокую эффективность.

1.3.4.1.1. Технологический регламент приготовления алюмосульфонефтяного пенообразователя

Состав:

- керосиновый контакт;
- сернокислый глинозем;
- едкий натр;
- вода.

На 1 кубометр пенобетона объемным весом 800 кг/м³ требуется:

- керосинового контакта 1,2 кг;
- сернокислого глинозема 1,2 кг;
- едкого натра 0,16 кг.

Приготовление алюмосульфонефтяного пенообразователя состоит из следующих операций:

- а) приготовление водного раствора сернокислого глинозема;
- б) получение 20%-ного раствора едкого натра;
- в) нейтрализация керосинового контакта (получение натриевой соли нефтяных сульфокислот);
- г) смешивание натриевой соли нефтяных сульфокислот с водным раствором сернокислого глинозема.

Для приготовления водного раствора сернокислого глинозема его разбивают на куски по 3–5 см, укладывают в деревянный бак и заливают горячей водой при соотношении сернокислого глинозема и воды 1:2. Затем смесь подвергают действию острого пара в течение 2–2,5 час. или выдерживают в горячей воде около суток, чтобы удельный вес раствора был равен 1,16. После тщательного перемешивания и охлаждения до температуры +15 °С раствор считается готовым.

Для получения 20%-ного водного раствора едкого натрия его растворяют при непрерывном перемешивании в таком количестве воды, чтобы удельный вес раствора при +20 °С был равен 1,23.

Керосиновый контакт разбавляют водой в соотношении 1:2 (по объему) и затем добавляют небольшими порциями (при обязательном перемешивании) 20%-ный раствор едкого натрия. Свободная серная кислота при этом переходит в сульфат натрия, а нефтяные сульфокислоты – в натриевую соль нефтяных сульфокислот.

Конец нейтрализации определяют посредством лакмусовой бумажки – для проверки кислой реакции.

Количество 100%-ного едкого натрия, необходимого для нейтрализации керосинового контакта, определяют по формуле:

$$H = (X/100) \cdot (0,81 \cdot B_1 + 0,11 \cdot B_2),$$

где

B_1 – процент свободной серной кислоты в керосиновом контакте;

B_2 – процент нефтяных сульфокислот в керосиновом контакте;

X – количество керосинового контакта, взятого для нейтрализации.

Пример расчета

Керосиновый контакт по паспорту или предварительному анализу содержит 40 % нефтяных сульфокислот и 0.5 % свободной серной кислоты. Всего взято для нейтрализации 300 кг керосинового контакта.

По приведенной выше формуле получим:

$$\begin{aligned} H &= (X/100) \cdot (0,81 \cdot B_1 + 0,11 \cdot B_2) = (300/100) \cdot (0,81 \cdot 0,5 + 0,11 \cdot 40) = \\ &= 3,0 \cdot (0,405 + 4,4) = 14,415 \text{ кг} \end{aligned}$$

При нейтрализации раствор нагревают до температуры +80–90 °С, при этом происходит расслоение жидкости. Верхний слой, представляющий собой керосин, удаляют, а нижний – водный раствор натриевой соли и нефтяных сульфокислот с удельным весом 1,06–1,07 идет (после остывания до +20 °С и добавки 40 %-ного водного раствора едкого натрия с удельным весом 1,23) на приготовление пенообразователя.

На каждый замес пенобетонмешалки вносят пенообразователь из водных растворов натриевой соли нефтяных сульфокислот и сернокислого глинозема при весовом соотношении 1:1,2.

Алюмосульфонатный пенообразователь может храниться до одного года.

«Что такое керосиновый контакт?»

В 1913 году русским ученым-химиком Г.С.Петровым был запатентован реактив для расщепления жиров при производстве мыла. С тех пор этот состав широко применяется во всем мире. По имени изобретателя его называют «Керосиновый контакт Петрова», или просто керосиновый контакт. Он представляет собой высокомолекулярные моносulфоновые кислоты, полученные сульфированием (обработкой серной кислотой) нефтяных дистиллятов (отходов производства бензина и керосина).

Сульфированные нефтяные кислоты – крупнотоннажный и дешевый отход крекинга нефти. Проблемой их цивилизованной утилизации или использования озабочена нефтеперерабатывающая промышленность всех стран.

Под различными торговыми марками «Керосиновый контакт Петрова» широко выпускается и используется во всем мире. Ближайшие зарубежные аналоги:

Petrosul Serie – (Penreco Inc – США)

Petronate – (Witco Chem. Co – Англия)

«Чем можно заменить керосиновый контакт?»

Нефтеперерабатывающая промышленность уже давно освоила выпуск сульфокислот, нейтрализованных щелочами уже в заводских условиях. Они называются НЧК (нейтрализованный черный контакт) или НЧКР (нейтрализованный черный контакт рафинированный). В любом случае применение НЧК или НЧКР для изготовления алюмосульфонатного пенообразователя по описанному выше регламенту существенно упрощается. Достаточно просто добавить стабилизатор пены – сернокислый глинозем.

Весьма важно также, что НЧК и НЧКР гостированы всеми странами СНГ по разряду воздухововлекающих добавок. Это снимает всякие препятствия для применения пенообразователей на их основе в плане возможной сертификации выпускаемого пенобетона.

На выпуске НЧК и НЧКР в бывшем СССР, в соответствии с особенностями местной нефти, специализировались азербайджанские и башкирские нефтеперерабатывающие предприятия. Украина и Беларусь в этом плане, увы, не имели такой возможности.

«Какие нефтяные сульфокислоты еще используются в качестве поверхностно активных веществ?»

В промышленности широко применяются щелочные соли нефтяных кислот в качестве поверхностно активных веществ. Но наиболее массовыми являются:

алкилбензосульфонаты (группы «Сульфанол» и «Азолят»);

алкиларилсульфонаты («ДС-РАС»);

алкилароматические сульфокислоты (группа ПО-1 и ПО-6К);

смеси различных сульфокислот («Контакт Петрова», НЧК, НЧКР).

В первую очередь следует отметить семейство сульфанолов. В литературе этому семейству уделено достаточно много внимания, но издержки терминологии и запутанность в обозначениях не позволяют разобраться в сути вопроса без посторонней помощи. Попробую представить информацию в более структурированном виде.

1. *Сульфанол* (он же сульфонол, он же сульфанол хлорный) – смесь натрий алкилбензосульфонов на основе керосина. Активной составляющей здесь до 80 %. Остаточных серной и сернистой кислот до 20 %. Основа композиций для очистки шерсти, тканей, поверхности металлов. Пенообразующий агент для до-

машинного хозяйства. Применяется также как основа эмульгирующих и смачивающих составов. Одно из самых массово выпускаемых в бывшем СССР поверхностно активное вещество (до 200 тыс. тонн в год). Крупнейшие производители сульфанола – азербайджанские нефтеперерабатывающие предприятия.

Ближайшие зарубежные аналоги:

Arylan SC30 – (Lankro Chem. Ltd – Англия),
Dumacene D40 – (Tensia – Бельгия),
Aralkylsulfonat – (BASF – Германия),
Marlon, Marlopon – (Huls – Германия),
Conco AAS serie – (Continental Chem. Co – США),
Sulframin 40 Flake – (Witco Chem. Co – США).

Сульфанол – единственная гостированная в СНГ строительная добавка, проходящая по разделу «Пенообразователи» (хотя исключительность заслуг именно сульфанола в качестве пенообразователя для ячеистых бетонов достаточно спорна, если не сказать больше).

2. *Сульфанол 40 % и 45 %*. Модификации традиционного сульфанола. Изготавливается из n-парафинов и керосиновых дистиллятов. Из-за особенностей технологического производства данную модификацию экономически выгодно производить именно указанной концентрации по действующему веществу. Свободных серной и сернистой кислот до 6 % и 20 % соответственно.

3. *Сульфанол обессоленный*. Если в составе обычного сульфанола количество остаточной серной и сернистой кислот достигает 20 %, то в данной модификации количество свободных кислот не превышает 1–2 %. Эта модификация специально ориентирована на применение в качестве пенообразующего агента, не раздражающего кожу и слизистые оболочки органов дыхания и глаз.

Ближайшие зарубежные аналоги:

Canco AAS – (Continental Chem. Co – США)
Arylan S90 – (Flane Lankro Chem. Ltd – Англия)

4. *Сульфанол НП-1*. Изготавливается на основе тетрамеров пропилена. Основного вещества до 50%. Свободных кислот до 40%.

Ближайшие зарубежные аналоги:

Igeral NA – (Hoechst – Германия)
Marlopon – (Huls – Германия)
Tensopol Serie – (Tensia – Бельгия)

5. *Сульфанол НП-2*. Изготавливается на основе тетрамеров пропилена. Основного вещества до 33 %. Свободных кислот до 6 %.

6. *Сульфанол НП-3*. Изготавливается на основе альфа-олефинов термореактивных парафинов. Выпускается двух модификаций: обычный (действующего

вещества до 30 %) и отбеленный (действующего вещества до 80 %). В обеих модификациях свободных кислот до 5 %.

Весьма перспективной, особенно для строительных нужд, обещала стать еще одна группа алкилбензосульфонов – группа «Азолят». Получаемые в качестве отхода некоторых специализированных производств крекинга азербайджанской нефти, даже не очищенные и не рафинированные смеси нафтенowych и нефтяных кислот обладали оптимальными характеристиками для производства пенообразователей. И что особенно важно для строительных нужд, вместо свободных серной и сернистой кислот (сильных замедлителей схватывания и твердения цемента) в них присутствовал сульфат натрия (отличный ускоритель). С распадом СССР это перспективное направление развития ПАВ пришло в упадок.

«Какие пожарные пенообразователи, выпускаемые серийно, изготовлены на основе ПАВ из нефтяных сульфокислот?»

Отечественная промышленность давно и успешно выпускает пенообразователи на основе поверхностно активных веществ получаемых из нефтяных сульфокислот. В первую очередь следует отметить пожарные пенообразователи:

1. ПО-1 – жидкость от желтого до коричневого цвета, без осадка и посторонних включений. Получается в результате нейтрализации керосинового контакта. Содержит не менее 45 % сульфокислот. Применяется в основном в переносных огнетушителях.
2. ПО-1А – «разбавленная» версия – содержит до 20 % сульфокислот. Применяется в качестве пенообразователя в мобильных установках получения воздушно-механической пены на нефтехранилищах.
3. ПО-1Д – «очень разбавленная» версия – содержит не более 2,5 % сульфокислот. Применяется в стационарных установках пенного пожаротушения на нефтехранилищах.
4. ПО-6К – «гражданский вариант» серии ПО-1. Изготавливается на основе сульфокислот, прошедших дополнительную гидроочистку и с минимальным количеством свободных серной и сернистых кислот. Содержит 34 % действующих веществ по ПАВ. Применяется в пожарных автомобилях.

Ближайшие зарубежные аналоги:

Igepal NA – (Hoechst – Германия)

Marvel NN – (Solar – Франция)

Все пенообразователи группы ПО-1, а также ПО-6К содержат в своем составе до 10% стабилизатора пены – обычно это желатина или полиакриламид. Для обеспечения возможности работы на морозе (до -8°C) в их состав

вводят также до 20 % различных антифризов – обычно это технический этиловый спирт.

Кроме того, те или иные комбинации сульфированных нефтяных и нафтенowych кислот присутствуют и в других пожарных пенообразователях: ПО-ЗАИ, ПО-ЗНП, ТАЭС, САМПО, «Морской», ПО-6НП, ПО-6ЦТ, «Форэтол», «Универсальный», «Пегас».

Пожарные пенообразователи серии ПО-1, а также пенообразователь ПО-6К изготовлены на основе нефтяных сульфокислот. В чем их главное отличие от описанного выше алюмосульфонатного пенообразователя?

Для пожарных пенообразователей важны прежде всего кратность получаемой пены, ее огнестойкость и растекаемость, возможность генерации воздушно-механическими устройствами. Обязательны также стабильность характеристик пенообразования в различных погодных-климатических условиях, длительная сохранность пенообразователя, возможность применения его без предварительных подготовительных операций и т.д.

Пенообразователи для производства пенобетонов налагают другие требования. Это в первую очередь кратность пены, ее стойкость и несущая способность, устойчивость и сохранение характеристик пены в щелочной среде в присутствии большого количества гидроокисей кальция, влияние составляющих пенообразователя на гидратацию цемента и т.д.

По совокупности этих требований, используя одно и то же поверхностно активное вещество (в нашем случае – алкилароматические сульфокислоты), но применяя различные стабилизаторы пены, можно получить совершенно разную картину пенообразования.

Применяемые в пожарных пенообразователях стабилизаторы – природные коллагены и антифризы негативно влияют на гидратацию цемента, а получаемые пены имеют низкую несущую способность – пенобетон «оседает». В алюмосульфонатном же пенообразователе в качестве стабилизатора используется сернистый глинозем. Он ускоряет кинетику набора крепости цемента и способствует повышению его конечной прочности.

Не только рядовые пенобетонщики, но и серьезные научно-исследовательские организации неоднократно пытались приспособить серийные пожарные пенообразователи для своих нужд. И именно из-за пренебрежения теоретическими исследованиями в этой области получаемые результаты во многих случаях оказывались удручающими.

«Какие существуют способы улучшения нефтяных сульфокислот?»

Путем отбора определенных фракций удастся направленно модифицировать свойства ПАВ на основе сульфокислот. Так, направленная рафинация алкилароматических сульфокислот позволила получить ПАВ ограниченной

растворяемости, а на его основе создать пенообразователь ПО-1Д. Его отличительная особенность – автоматическое поддержание концентрации водных растворов (2,5%), лишнее просто выкристаллизовывается. Это очень удобно на крупных нефтехранилищах: прокачивая воду через резервуар с пенообразователем ПО-1Д, на выходе автоматически получают раствор постоянной концентрации. Этот нюанс также следует учитывать пенобетонщикам и не пытаться в бочке воды растворить мешок ПО-1Д.

Рафинация алкиларилсульфонатов позволила получить знаменитый ДС-РАС. Он сохраняет высокую пенообразующую способность в высокоминерализованных водах, даже в присутствии солей жесткости. Благодаря этому его широко используют как флотагент в горнорудной промышленности, пенообразователь и пластификатор в строительстве, интенсификатор помола цемента, пенообразователь для пеногасящих составов с использованием высокоминерализованной океанской воды и т. д.

Его ближайшие зарубежные аналоги:

Stanyl 40 – (Esso – Франция)

Tensene D40 – (Tensia – Бельгия)

Alkanol WXN – (Du Pont Co – США)

«Чем различаются пенообразователи ПО-6 и ПО-6К?»

Из-за несовершенства отечественной терминологии возможна серьезная путаница в этом вопросе.

Пенообразователь ПО-6 изготавливается из гидролизированных протеинов на мясокомбинатах. Полный аналог ПО-6 – пенообразователь ГК из гидролизованной крови был рассмотрен ранее.

Пенообразователь ПО-6К изготавливается из алкилароматических сульфокислот на нефтеперерабатывающих предприятиях.

И хотя названия обоих составов очень похожи и механизм действия их одинаков, это совершенно разные вещества.

«Влияет ли концентрация сульфатных пенообразователей на кратность и устойчивость получаемой пены?»

В соответствии с общепринятой методикой определения пригодности того или иного пенообразователя, для приготовления пенобетонов назначается его концентрация. Редко она превышает 1,5%. На мой взгляд, это в корне неправильно. Делать вывод о целесообразности применения и назначать оптимальную концентрацию необходимо индивидуально для каждого типа пенообразователей. И только после полного исследования его пенообразующей способности во всем рациональном диапазоне концентраций.

Концентрация пенообразователя ПО-6К (%)	0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50
Стойкость пены (мин)	0.12	0.40	0.50	0.50	3.00	90.00	120.00	105.00	60.00

Таблица 1.3.4.1.1-1

Так, для сульфонатных пенообразователей оптимум, с пиком устойчивости пены, находится в пределах 2,0–2,5% по сульфонефтяной кислоте (см. *таблицу 1.3.4.1.1-1*).

Возможно, пренебрежение приведенными выше результатами исследований полувековой давности (или другие мотивы) привели к тому, что единственный серийно производимый в Украине пожарный пенообразователь, по результатам специально проведенных исследований, оказался фактически непригодным для изготовления пенобетонов.

«Что такое серноокислый глинозем?»

Серноокислый глинозем – это технический серноокислый алюминий с 18 молекулами воды – $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$

Это дешевое и широкодоступное соединение в массовом порядке применяется повсеместно в качестве коагулянта для очистки воды.

«Какова роль серноокислого глинозема в составе приведенного выше алюмосульфонатного пенообразователя? Есть ли ему замена?»

В 1938 году инженером Г. О. Ерчиковским с сотрудниками была проведена огромная работа по исследованию влияния различных веществ на кратность и устойчивость пен, получаемых при помощи различных пенообразователей. Было исследовано множество веществ – от тривиальнейшего известкового молока до коллоидной платины. Общий вывод этих исследований: некоторые вещества являются своего рода катализаторами пенообразования. В каждом случае это разные вещества, но то, что в их присутствии скорость нарастания устойчивости пены возрастает в несколько раз, несомненно, установленный факт. Развивая эти исследования, Л. М. Розенфельд, помимо традиционно применявшихся для этих целей природных гидрофильных коллоидов (желатина), испытал в качестве стабилизаторов пены и другие вещества: серноокислые алюминий и железо, алюминиевые и хромовые квасцы, хлорное железо. Наилучшие показатели оказались у серноокислого глинозема. Его-то и было предложено использовать в качестве стабилизатора пены.

«Как ведут себя на морозе пенообразователь ПО-6К и серия ПО-1?»

В состав этих пожарных пенообразователей специально вводятся антифризы – этиловый спирт или полиэтиленгликоли, пожары ведь приходится тушить и на морозе. Поэтому температура их замерзания –8 °С.

«Как ведет себя на морозе алюмосульфатный пенообразователь, приготовленный по приводимому выше регламенту?»

В его составе нет противоморозного компонента. Поэтому при 0 °С он замерзнет. Замораживание никак не отразится на его последующих свойствах, если обеспечить равномерное перемешивание после оттаивания.

«Влияют ли пенообразователи на основе сульфатов на прочность пенобетона?»

Если в качестве стабилизатора пены используется сернокислый глинозем, то за счет образования геля гидрата алюминия схватывание и твердение пенобетона ускоряется.

Если в качестве стабилизатора используются природные коллагены (пожарные пенообразователи), схватывание и твердение замедляются. Порой настолько значительно, что это вынуждает снижать концентрацию пенообразователя ниже очень узкого «пика оптимальности» (см. выше), и тогда возможна значительная усадка пенобетонной смеси в формах. Присутствие в пожарных пенообразователях еще и антифризов способно, в зависимости от их вида, иногда испортить картину до полного безобразия.

«Как влияет температура на пенообразующую способность пенообразователей на основе сульфатов?»

Пенообразователи на основе сульфатов очень критичны к температуре как рабочего раствора, из которого готовится пена, так и собственно пенобетонной смеси. Незнание подобной, казалось бы, мелочи отравило жизнь многим пенобетонщикам – по совершенно необъяснимым для них причинам характеристики смеси «плавают». Обвиняют в этом чуть ли не фазы Луны. И в конце концов переходят на другие пенообразователи – пусть они в чем-то хуже или дороже, но их поведение прогнозируемо!

Приводимая ниже таблица (см. *таблицу 1.3.4.1.1-2*) многое разъясняет. Данные для ее составления были взяты мной из книги [Котов А.А, Петров И.И., Реутт В. Ч. *Применение высокократной пены при тушении пожаров*. М., 1972 г.] (в первоисточнике эта зависимость отражена графически, но чтобы не утомлять читателя логарифмическими осями координат, я счел более целесообразным перевести ее в табличную форму, несколько округлив приводимые цифры).

Учитывать подобную температурную аномалию поведения алюмосульфатного пенообразователя следует также и при использовании различных энергонапряженных перемешивающих, активирующих или пенообразующих устройств – в процессе быстрого и активного перемешивания часть подводимой энергии обязательно затрачивается на разогрев смеси.

	Концентрация алюмосульфатного пенообразователя (%)							
	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
Устойчивость пены при температуре алюмосульфатного пенообразователя +20 °С (секунд)	4	6	5	6	7	10	27	210
Устойчивость пены при температуре алюмосульфатного пенообразователя +40 °С (секунд)	3	4	4	4	5	8	18	60
Устойчивость пены при температуре алюмосульфатного пенообразователя + 60 °С (секунд)	3	2	1	0.5	1	3	7	9

Таблица 1.3.4.1.1-2

«Есть ли разница между сульфонафтоновыми или сульфонефтяными пенообразователями?»

При всей схожести названий разница очень существенна – сульфонафтенаты в щелочной среде, в присутствии гидроокисей кальция превращаются в водонерастворимые соли и выпадают в осадок. За время своей короткой жизни они, тем не менее, успевают захватить некоторое количество воздуха при перемешивании. Этого вполне достаточно, чтобы за счет мельчайших микропузырьков воздуха придать бетону повышенную морозостойкость.

Мылонафт и асидол, типичные представители сульфонафтенатов, давно и успешно применяются в технологии тяжелых бетонов. Но в качестве пенообразователей они непригодны в принципе. Сульфонаты же, в том числе и описанный выше алюмосульфонефтяной пенообразователь, в присутствии $\text{Ca}(\text{OH})_2$ остаются водорастворимыми и сохраняют свою пенообразующую способность.

1.3.4.2. Пенообразователи из производных нафталина – клеенекалевый пенообразователь

Некаль представляет собой комплексное соединение, полное химическое название которого – дибутилнафталинмоносульфонокислый натрий. Его получают нейтрализацией едким натром продукта взаимодействия нафталина, серной кислоты и бутилового спирта.

В промышленности Некаль обычно получают и используют в виде темно-коричневого водного раствора 16–20%-ной концентрации. В процессе синтеза Некаля часть серной кислоты остается в нем и, при нейтрализации едким натром, дает сернокислый натрий, содержание которого в товарном Некале достигает 10%. Кроме того, в растворе находится некоторое количество хлорида натрия. Удельный вес 18%-ного раствора Некаля при температуре +20 °С равен 1,110–1,113.

Наличие в Некале тяжелого органического радикала и сильного электролита делает его поверхностно-активным веществом, что обуславливает эмульгирующие, пенообразующие и моющие свойства. Это позволяет широко применять Некаль как заменитель мыла в текстильной промышленности.

При комнатной температуре из 17–20 %-ного водного раствора Некаля выпадает осадок, который при нагревании вновь переходит в раствор. Водный раствор Некаля может храниться длительное время, он огне- и взрывобезопасен. В зависимости от производителя и особенностей конкретного производства, в товарном Некале может присутствовать значительное количество сопутствующих солей, значительно снижающих его пенообразующую способность.

Далее приводится только часть комплексных исследований Некаля в качестве пенообразователя для производства пенобетона. Но и они убедительно свидетельствует, насколько фундаментально и всеобъемлюще советское бетоноведение подходило даже к незначительным нюансам при проведении комплексных исследований.

Добавка Некаля влияет на кинетику гидратации цемента. Это влияние отражено в *таблице 1.3.4.2-1*, построенной на результатах испытания цементного раствора.

Эксперименты показали, что пена из Некаля легко поддается стабилизации различными коллагенами. Из всех исследованных веществ по соотношению «цена/эффективность» наилучшие показатели у столярного клея. Результаты отражены в *таблице 1.3.4.2-2*.

По результатам предыдущих исследований возникла потребность определить влияние на кинетику гидратации цемента добавки к Некалю клея столярного (см. *таблицу 1.3.4.2-3*).

Для сравнения, в абсолютно идентичных условиях были проведены исследования сапонинового, клееканифольного, алюмосульфонефтяного, и ГК пенообразователей. Пример по сапониновому приводится в *таблице 1.3.4.2-4*, остальные в данном обзоре не отражены.

На основании проведенных исследований была выстроена градация расхода различных пенообразователей (см. *таблицу 1.3.4.2-5*).

В соответствии с полученными результатами и стоимостью отдельных пенообразователей выстраивается обоснование их применимости в тех или иных условиях с экономической точки зрения (в данном обзоре не отражено).

Проверка влияния клеенекалевого пенообразователя на прочностные показатели пенобетона отражена в *таблице 1.3.4.2-6*.

Эксперименты показали, что наиболее сильно, Некаль оказывает воздействие на кинетику набора прочности на отрезке 3–7 суток. В дальнейшем его тормозящий эффект значительно нивелируется, и примерно к 3-месячному возрасту исчезает полностью для дозировок 0,03 % (ранее установлено, что 0,03–0,05 % как раз и есть оптимальные дозировки).

Водного раствора Некаля от веса цемента	Сухого Некаля от веса цемента	Удлинение сроков схватывания (в мин.)		Сопротивление сжатию	
		начало	конец	в кг/см ²	в % от цемента без добавки
0,000	0,000	–	–	419	100
0,010	0,0025	15	25	390	93
0,025	0,006	20	45	367	87,6
0,050	0,012	10	25	360	85,9
0,075	0,018	15	60	350	83,5
0,100	0,025	20	30	337	80,4
0,250	0,061	25	50	329	76,1

Примечание:

- водный раствор Некаля применялся с плотностью 1,115 (содержание Некаля по сухому веществу – 24,52 %);
- В/Ц цементного раствора во всех случаях – 0,27, что соответствовало нормальной густоте для данного цемента;
- испытания на сжатие велись на кубиках 2х2х2 см (в соответствии со стандартами на момент проведения исследований);
- метод испытания образцов на прочность – ускоренный.

Таблица 1.3.4.2-1

Состав пенообразователя		Выход пены (в литрах) из соответствующего количества водного раствора пенообразователя (в литрах)									
Некаль (в частях по весу)	Клей (в частях по весу)	0,1 л	0,2 л	0,3 л	0,4 л	0,5 л	0,6 л	0,7 л	0,8 л	0,9 л	1,0 л
1	0	4,0	4,3	5,2	5,4	5,5	5,8	5,1	3,0	–	–
1	0,25	3,5	5,5	7,0	8,4	10,1	10,0	9,0	7,3	–	–
1	0,50	4,3	7,2	10,2	12,4	12,5	12,5	12,3	12,1	11,2	10,0
1	1	5,9	8,0	9,8	11,3	12,5	14,3	15,8	16,0	15,9	15,7

Примечание:

- Клей и Некаль смешивались в указанных весовых соотношениях. Затем отмерялся 1 г полученной смеси и растворялся в соответствующем количестве воды. Приготовление пены осуществлялось в цилиндрическом металлическом сосуде объемом 18 л по стандартной методике;
- Осадка пены определялась на приборе ЦНИИПС (результаты в данном обзоре не отражены).

Таблица 1.3.4.2-2

Процент добавки к цементу (по сухому веществу)		Соотношение некаль/клей (по весу)	Сроки схватывания (в час.-мин)		Сопротивление сжатию (28-суточное) (в кг/см ²)	Прочность (в %)
Некаль	клей		начало	конец		
0,02452	0,0000	1 : 0,00	3–50	5–05	334	100,0
0,02452	0,0125	1 : 0,51	2–25	4–05	350	104,7
0,02452	0,0250	1 : 1,00	3–08	5–15	321	96,7
0,02452	0,0500	1 : 2,04	3–05	5–15	263	78,7

Примечание:

За 100 % принята прочность, полученная с учетом снижения прочности без добавок.

Таблица 1.3.4.2-3

Процент добавки сапонины от массы цемента (по водному раствору плотн. 1,02)	Процент добавки сапонины от массы цемента (по сухому веществу)	Сроки схватывания (в час.-мин)		Сопротивление сжатию (28-суточное) (в кг/см ²)	Прочность (в %)
		начало	конец		
0,00	0,000	3–15	5–15	300	100
0,25	0,014	3–45	5–05	278	93
0,50	0,028	3–45	5–05	248	83
0,75	0,02	3–30	6–10	235	78
1,00	0,046	4–45	6–45	225	75
1,50	0,074	6–02	10–55	218	73
2,00	0,102	6–05	10–55	201	67
2,50	0,130	5–35	14–20	201	67
3,00	0,158	5–10	13–37	170	56

Таблица 1.3.4.2-3-4

Название пенообразователя	Расход пенообразователя (в весовых частях по сухому веществу) на 1 кг цемента
Сапониновый	0,00500 – 0,0100
Клее-канифольный	0,00150 – 0,0020
Алюмосульфонефтяной	0,00800 – 0,0200
ГК	0,00025 – 0,0004
Клеенекалевый	0,00020 – 0,0005

Таблица 1.3.4.2-3-5

Дозировка некалевого пенообразователя от массы цемента (в % по сухому веществу)	Прочность на сжатие в возрасте (в кг/см ²)				Снижение прочности в возрасте (в %)			
	3 сут.	7 сут.	28 сут.	3 мес.	3 сут.	7 сут.	28 сут.	3 мес.
0,00	82	120	230	330	0	0	0	0
0,01	45	72	180	165	45	40	22	50
0,03	56	89	205	339	32	26	11	0
0,05	44	83	205	289	46	31	11	13
0,07	15	83	225	278	82	31	2	16

Таблица 1.3.4.2-6

Вид вяжущего	Нормальная густота вяжущего (в %)	Сроки схватывания вяжущего в час. – мин		Фактическая активность вяжущего (в кг\см ²)
		начало	конец	
Портландцемент М400	27,0	3–15	5–15	432
Шлакопортланд- цемент М250	27,0	3–15	6–00	280
Местное вяжущее	27,5	0–45	1–45	234

Примечание:

- Местное вяжущее – продукт совместного помола в вибромельнице М200 извести комовой негашеной 20 %, боя красного керамического кирпича (цемянка) 70 %, гипса строительного 5 %, портландцемента М400 5 %;
- Химико-минералогический, гранулометрический и петрографический состав используемых вяжущих в данном обзоре не отражен.

Таблица 1.3.4.2-7

Расход материалов на 1 м ³ пенобетона			В/Ц	Объемный вес (в кг/м ³)	Сопротивление сжатию в возрасте 28 суток (в кг/см ²)
Портланд- цемент (в кг)	Некаль (в гр.)	Клей (в гр.)			
219	97	52	0,38	263	5,6
330	236	120	0,40	396	14,6
496	182	99	0,34	597	25,3
504	253	129	0,40	605	30,9
683	95	50	0,40	820	34,6

Таблица 1.3.4.2-8

Расход материалов на 1 м ³ пенобетона			В/Ц	Объемный вес (в кг/м ³)	Сопротивление сжатию в возрасте 28 суток (в кг/см ²)
Шлакопорт- ландцемент (в кг)	Некаль (в гр.)	Клей (в гр.)			
174	122	65	0,40	209	1,9
211	93	49	0,38	253	5,3
247	147	78	0,40	296	5,0
367	114	60	0,40	440	10,8
428	112	59	0,34	514	18,0

Таблица 1.3.4.2-9

Наименование материала	Гранулометрический состав материала по фракциям (в %)							Удель- ный вес	Объемный вес (в кг/м ³)	
	1 мм	1– 0,6 мм	0,6– 0,3 мм	0,3– 0,15 мм	0,15– 0,05 мм	0,05– 0,005 мм	менее 0,005 мм		рыхлое состояние	плотное состояние
Тонкозернистый песок «А»	–	0,05	0,30	25,70	63,20	8,20	2,55	2,70	1320	1660
Пылеватый грунт «Г»	–	–	0,80	13,30	44,20	39,30	2,40	2,65	1320	1660
Мелкозернистый песок «Г»	0,06	6,30	19,68	60,68	10,75	2,53	–	–	1380	1670
Тонкозернистый пылеватый песок «С»	–	0,08	0,70	21,42	58,30	–	–	–	–	–
Тонкозернистый пылеватый песок «М»	–	0,08	0,50	8,65	41,53	43,20	6,20	2,7	1270	1590

Примечание:

Выбор конкретных заполнителей отражает реалии типичных местных условий.

Таблица 1.3.4.2-10

Расход материалов на 1 м³ пенобетона						Состав пенобетона (по весу)	Вода/(Цем. + Заполн.)	Объемный вес пенобетона (в кг/м³)	Сопрот. сжатию (в кг/см²)
Портланд- цемент М400	Заполнители		Некаль (в гр.)	Клей (в гр.)					
	Наимен.	Кол-во (в кг.)							
242	Грунт «А»	97	113	60		1:0,4	0,56	372	7,5
260	-- // --	104	118	29		1:0,4	0,39	399	8,0
285	-- // --	114	104	26		1:0,4	0,40	532	9,4
297	-- // --	297	80	42		1:1	0,60	652	15,5
250	Грунт «К»	107	102	54		1:0,43	0,50	393	2,7
199	Песок «Г»	199	166	83		1:1	0,50	438	3,1
244	-- // --	244	94	50		1:1	0,50	538	4,1
248	-- // --	248	70	37		1:1	0,38	546	5,5
252	-- // --	252	70	37		1:1	0,46	555	6,7
246	-- // --	492	78	41		1:2	0,60	816	12,2

Таблица 1.3.4.2-11

Расход материалов на 1 м³ пенобетона				В/Ц	Условия твердения				Объемный вес пенобетона (в кг/м³)	Сопротивле-ние сжатию (в кг/см²)
Портланд-цемент (в кг)	Молотый пес-чаный грунт (в кг)	Некаль (в гр.)	Клей (в гр.)		Предварит. норм. хранение (в сутках)	Пропарка		Последующ. норм. хранение (в сутках)		
						№ режима пропарки	Продолж. (в час.)			
282	121	101	101	0,34	1	1	26	8	442	
397	170	90	50	0,34	1	1	26	8	624	11,3
414	178	79	42	0,34	1	1	26	8	650	12,8
462	199	81	43	0,34	1	1	26	8	728	17,2
497	216	65	34	0,34	1	1	26	8	781	18,2
620	266	102	54	0,34	5	2	26	1	975	54,7

Таблица 1.3.4.2-12

№ п/п	Расход материалов на 1 м³ пенобетона					В/Ц	Условия твердения			Объемный вес пенобетона (в кг/м³)	Сопротивление сжатию (в кг/см²)
	Известь (в кг)	Цемянка (в кг)	Гипс (в кг)	Портланд-цем. (в кг)	Некаль (в гр)		Предварит. норм. хранение (в сутках)	Продолж. пропарки (в часах)	Последующее норм. хранение (в сутках)		
1	67	253	17	17	118	0,55	1	21	4	388	3,5
2	69	260	18	17	114	0,55	2	20	4	400	4,0
3	63	254	17	17	118	0,55	3	21	4	392	4,3
4	63	258	17	17	118	0,55	5	21	1	392	4,7
5	69	260	17	17	114	0,55	7	26	4	399	3,4
6	69	258	17	17	115	0,55	1	21	5	397	4,9
7	69	257	17	17	117	0,55	2	20	4	395	5,2
8	69	258	17	17	115	0,55	3	21	6	397	5,2
9	68	257	17	17	117	0,55	5	21	4	395	5,2
10	70	261	17	17	114	0,55	7	26	4	401	5,0
11	80	257	18	18	112	0,55	28	0	0	410	4,1

Таблица 1.3.4.2-13

№ п/п	Расход материалов на 1 м³ пенобетона					В/(Ц+П)	Объемный вес пенобетона (в кг/м³)	Прочность на сжатие в возрасте (в кг/см²)				
	Порт-ланд-цемент (в кг)	Песок (в кг)	Некаль (в гр)	Клей (в гр)	Вода (в лит-рах)			7 сут.	14 сут.	28 сут.	60 сут.	210 сут.
1	240	144	130	32	142	0,37	426	5,00	6,00	7,45	9,30	11,70
2	240	144	130	32	134	0,35	419	3,87	4,98	5,30	5,70	7,83
												–

Таблица 1.3.4.2-14

№ Состав	Вид вяжущего	Расход материалов на 1 м³ пенобетона						В/(Ц+П)	Номинальный состав (Вяжущее : Песок)	Выдержка до запарки (в час.)	Время запарки при 8 атм (в час.)	Выдержка после запарки (в час.)	Последующее нормальное твердение (в сут.)	Объемный вес пенобетона (в кг/м³)	Сопротивление сжатию (в кг/см²)
		Известь (в кг)	Вяжущее (в кг)	Песок (в кг)	Пенообразова- тель										
					Некаль (в гр)	Каль (в гр)									
1	Местное	—	457	—	80	40	0,45	1:0	120	10	24	7	475	15,1	
7	-- // --	—	364	—	80	40	0,45	1:0	40	10	10	3	440	17,1	
8	-- // --	—	636	—	80	40	0,45	1:0	40	10	10	3	706	24,9	
8	-- // --	—	636	—	80	40	0,45	1:0	40	10	10	3	726	25,8	
12	-- // --	—	636	—	80	40	0,45	1:0	18	10	54	4	747	37,1	
12	-- // --	—	636	—	80	40	0,45	1:0	18	10	78	5	769	40,2	
2	Шлако- портланд- цемент	—	242	484	80	40	0,32	1:2	120	10	24	7	711	17,5	
2	Портланд- цемент	—	363	363	80	40	0,32	1:1	40	10	10	3	700	22,5	
5	Известь	132	—	594	80	40	0,35	1:4,5	40	10	10	3	800	20,3	
3	-- // --	97	—	582	80	40	0,37	1:6	18	10	32	3	790	12,1	

Таблица 1.3.4.2-15

Дальнейшие исследования были посвящены изучению поведения клеенекалевого пенообразователя на различных вяжущих и заполнителях. Для начала определились с номенклатурой вяжущих (взяли три типовых) и определили их характеристики, – чтобы иметь возможность сравнивать с ранее проведенными или последующими исследованиями (см. *таблицу 1.3.4.2-7*).

Испытание пенобетона на вяжущих без инертных заполнителей проводилось по стандартной методике. Результаты для портландцемента М400 отражены в *таблице 1.3.4.2-8*.

То же самое для шлакопортландцемента (см. *таблицу 1.3.4.2-9*).

Теперь настал черед испытать пенообразователь, добавив к вяжущему инертный заполнитель. Для сопоставимости полученных результатов заполнители также подвергли предварительному исследованию (см. *таблицу 1.3.4.2-10*).

Испытания пенобетона на вяжущих с инертными заполнителями проводилось по стандартной методике, и показали следующие результаты: (см. *таблицу 1.3.4.2-11*).

Влияние тепловлажностной обработки (пропарка) на пенобетон, изготовленный на клеенекалевом пенообразователе, отражено в *таблице 1.3.4.2-12*.

Использование т. н. «местного» вяжущего совместно с пропаркой: (см. *таблицу 1.3.4.2-13*).

Была также проверена кинетика изменения прочности пенобетона во времени (см. *таблицу 1.3.4.2-14*).

Автоклавирование ячеистых бетонов отражено *таблице 1.3.4.2-15*.

1.4 Сравнительно-оценочная характеристика пенообразователей

Логическим завершением темы о пенообразователях может послужить их сравнительно-оценочная характеристика. Причем она обязательно должна отвечать определенным критериям, а именно:

1. Для снижения тенденциозности в оценках, обусловленной рекламными соображениями, исследования должны быть комплексными, проведенными солидными государственными научными учреждениями и в рамках целевых государственных научно-исследовательских программ, финансируемых исключительно государством.
2. Руководить подобными работами (и подписываться под полученными результатами) должны ученые, обладающие непререкаемым авторитетом в этой области.
3. Исследования должны быть не слишком старыми, чтобы современные вещества в них были отражены достаточно полно, но и не ультрасовременными. В последнее время уж слишком активно стал внедряться в нашу повседневность лозунг «все покупается и продается».

4. Результаты исследований должны быть сопоставимы. Для этого они должны проводиться по единым правилам, в одинаковых условиях и на строго обоснованных методиках проведения экспериментов.
5. Исследования обязательно должны быть легко проверяемы в условиях строительной лаборатории, понятны для строителей-практиков с инженерно-строительным образованием и носить ярко выраженную практическую ориентацию. А разные термокинетики гидратации, спектроскопии и прочие «хроматографии» следует оставить «на растерзание» узким специалистам.

Установив для себя приведенные выше ограничения, автор перерыл горы литературы – все не то. Тут явно торчат «рекламные уши»; это не внушает доверия, – явно не специалист работал; здесь сенсационные исследования, претендующие на серьезные научные дивиденды в будущем, а реальных результатов нет.

Одного за другим вычеркивая претендентов, я остановился на книге Р.А. Гаджилы и А.П. Меркина *«Поверхностно активные вещества в строительстве»* (1981 г.). Первый – представитель азербайджанской нефтехимической школы. Его имя мало кому знакомо в научных строительных кругах. Зато, услышав имя второго, любой уважающий свой бизнес пенобетонщик должен стать по стойке «смирно» и внимать словам мэтра.

Адольф Петрович Меркин, основатель метода сухой минерализации в пенобетонах – безусловный авторитет. Его совместные труды с Хигеровичем и Таубе также свидетельствуют о его научной значимости.

Приводимые ниже небольшие выдержки – обобщенный результат комплексной научно-исследовательской программы азербайджанской нефтехимической промышленности по поиску, разработке и продвижению на рынок продуктов нефтехимии. Чтобы не утомлять читателя ненужными подробностями, я умышленно ограничил список исследованных пенообразователей 9-ю наименованиями (в первоисточнике их 26) – либо типичными представителями своего класса, либо массово применяемыми в пенобетонном производстве.

Учитывая предполагаемую читательскую аудиторию, весьма далекую и от проблем нефтехимии, и от научно-методологического обоснования технологии производства пенобетона, я счел уместным сопроводить своими комментариями приводимые ниже результаты исследований.

Эффективность поверхностно-активных веществ, применяемых в технологии строительных материалов, определяется комплексом факторов. Наряду с основополагающим – снижением поверхностного натяжения, немаловажны и такие, как пенообразующая способность водных растворов ПАВ, их агрегатная устойчивость в зависимости от концентрации пенообразователя и добавок загустителей и электролитов (стойкость «пустых пен»). Влияние ПАВ на кинетику гидратации вяжущего, гидрофолизирующее либо гидрофобизирующее

воздействие на вяжущие и цементный камень, растворимость в воде, способность эмульгироваться и эмульгировать и т.д. непосредственно отражаются на последующих строительно-эксплуатационных свойствах готовой продукции. Именно по этим основным критериям и проводились комплексные исследования различных пенообразователей.

Учитывая щелочной характер среды при поризации воздухововлечением цементно-песчаных и известково-песчаных (в данном обзоре из-за недостатка места поризация известково-песчаных смесей не отражена), основные характеристики ПАВ были изучены как в чистой воде, так и в насыщенном растворе гидроокиси кальция, что отражает реалии производственного процесса. Анализ нижеприведенной таблицы показывает, что умышленное или неумышленное пренебрежение такой, казалось бы, мелочью, как щелочность среды пенообразования, весьма существенно отражается на кратности и стойкости получаемой пены, позволяя в рекламных целях манипулировать степенью эффективности тех или иных пенообразователей.

При анализе нижеприведенных таблиц следует также учитывать, что ПО-1, за исключением всех остальных, это не индивидуальное ПАВ, а готовый товарный пенообразователь, в состав которого уже введен стабилизатор. Следует ожидать, что СНВ (смола нейтрализованная воздухововлекающая) после добавки соответствующего стабилизатора превратится в клее-канифольный пенообразователь, кратность и особенно стойкость пены которого значительно улучшатся. Эти рассуждения справедливы также для Некаля и клее-некалевого пенообразователя.

Кратность и стойкость пены из нафтенowych кислот (мылонафт и асидол-мылонафт) в щелочной среде, насыщенной гидроокисями кальция, рассматривать бессмысленно – в результате обменно-замещающих реакций по кальцию эти ПАВ из водорастворимых натриевых солей нафтенowych кислот переходят в кальциевые соли. А они уже водонерастворимы, выпадают из раствора в форме осадка и быстро теряют свою пенообразующую способность. Это также справедливо и для пенообразователей на основе жирных кислот, и для таких, в чьем составе они преобладают в качестве ПАВ (СДО).

ЦНИИПС-1 – омыленные древесные пеки от переработки хвойной древесины на уксусную кислоту – по-нынешнему СДО (смола древесная омыленная). Их химический состав весьма разнится от партии к партии, но смоляных кислот всегда намного больше, чем жирных. А общеизвестно, что смоляные кислоты в щелочной среде свою пенообразующую способность увеличивают, а жирные снижают (химизм процесса, как и для нафтенowych кислот – см. выше).

В омыленных древесных пеках из лиственных пород древесины жирных кислот, наоборот, больше, чем смоляных. И их по праву можно отнести к ПАВ, не обеспечивающих нужного для производства пенобетона пенообразования в

щелочной среде. Этот факт, тем не менее, играет положительную роль в тяжелых бетонах, где излишнее воздухововлечение вредно. Стремясь дистанцироваться от традиционного СДО, обозначить свою «тяжелобетонную» ориентацию, но остаться в зоне действия отечественных разрешительно-рекомендующих нормативных документов, некоторые производители стали именовать свою продукцию на манер SDO или SDO-L.

(Следует признать, весьма красивое и оригинальное решение, ловко обыгрывающее идентичность русской и английской транскрипции. Оно наверняка не останется без последователей, и в ближайшем будущем следует ожидать нашествие клонов типа S-3 (C-3), SNV (CHB), GKJ-11N (ГКЖ-11Н), LST (ЛСТ), DOFEN (Дофен) и т.п.).

Действие воздухововлекающих добавок связано с поверхностными явлениями на границе раздела жидкой и газообразной фаз и на границе раздела твердой и жидкой фаз. Со снижением поверхностного натяжения водных растворов ПАВ увеличивается их пенообразующая, а в цементно-песчаных смесях – воздухововлекающая способность. Однако при определенных концентрациях поверхностное натяжение водных растворов ПАВ достигает своего предельного значения, и дальнейшее увеличение концентрации не вызывает значимого изменения поверхностного натяжения. Проведенные эксперименты показали, что для всех добавок, повышение концентрации от 0,05 до 0,1% вызывает постепенно возрастающее воздухововлечение. В интервале 0,10–0,15 оно достигает максимума. Повышение концентрации сверх 0,15% не приводит к увеличению пенообразования. Это явление объясняется насыщенностью поверхностного слоя и затрудненностью дальнейшей адсорбции молекул ПАВ к границе раздела вода/воздух. В результате замедляется снижение поверхностного натяжения, что и приводит к стабилизации пенообразования, а, следовательно, и воздухововлечения.

Влияние температуры раствора на объем вовлеченного воздуха – один из решающих факторов в механизме воздухововлечения. Увеличение температуры массы от +17 до 70°C приводит к неуклонному уменьшению объема воздухововлечения. При этом суммируются два явления: уменьшение поверхностного натяжения растворителя и изменение адсорбции ПАВ в поверхностном слое. Повышение температуры оказывает большое влияние на адсорбцию ПАВ, сильно ее уменьшая. В этом главная причина резкого снижения воздухововлечения при повышении температуры. С другой стороны, увеличение температуры массы, хотя и сильно уменьшает объем вовлеченного воздуха, зато резко увеличивает скорость воздухововлечения.

С точки зрения практической применимости, зависимость скорости и объема воздухововлечения от температуры можно эффективно использовать: в начале цикла перемешивания температура смеси должна быть как можно выше,

Наименование ПАВ	Кратность пены для концентрации пенообразователя (%)											
	0,25 %		0,50 %		1,00 %		1,50 %		2,00 %		2,50 %	
	вода	Ca(OH) ₂	вода	Ca(OH) ₂	вода	Ca(OH) ₂	вода	Ca(OH) ₂	вода	Ca(OH) ₂	Вода	Ca(OH) ₂
Азолят А	15,0	7,2	22,0	8,5	22,0	21,4	24,0	23,0	24,0	24,0	24,0	24,2
ПО-1	7,8	7,45	14,5	20,0	20,4	22,5	22,7	23,5	23,3	24,0	24,7	24,2
Некаль	7,0	1,5	11,5	2,5	16,4	4,75	24,3	5,9	24,5	10,2	24,6	12,9
НЧК	2,2	1,2	5,5	2,5	9,1	4,15	10,0	8,2	11,5	12,3	12,3	16,8
Сульфол хлорный	8,0	1,6	8,6	1,6	10,0	3,4	11,6	4,0	12,4	5,0	16,0	6,4
СНВ	3,0	3,6	3,0	4,6	7,0	6,0	8,4	6,0	8,6	6,4	10,0	7,4
ЦНИИПС-1	2,4	2,8	2,8	3,0	3,0	4,2	3,5	5,6	5,0	6,0	5,2	6,2
Мылонафт	1,5	0	2,5	0	3,7	0	7,6	0	10,1	0	12,4	0
Асидол-мылонафт	1,2	0	3,0	0	4,35	0	7,25	0	9,3	0	11,8	0

Таблица 1.4-1 Кратность пены в зависимости от концентрации пенообразователя и щелочности среды пенообразования

Наименование ПАВ	Объем пены, см ³ , по времени (минут)											
	0		10		20		30		40		50	
	вода	Ca(OH) ₂	вода	Ca(OH) ₂	вода	Ca(OH) ₂	вода	Ca(OH) ₂	вода	Ca(OH) ₂	Вода	Ca(OH) ₂
Азолят А	2400	2300	2250	2200	1400	1500	530	600	300	200	190	180
ПО-1	2265	2350	2265	2200	2255	2140	2200	2080	1950	1900	1710	1750
Некаль	2430	590	2395	195	1500	100	400	0	200	0	180	0
НЧК	1000	820	800	690	580	520	300	300	150	140	120	100
Сульфол хлорный	1160	400	840	200	300	120	200	105	180	100	140	0
СНВ	840	600	780	600	460	600	260	600	200	600	180	600
ЦНИИПС-1	350	560	250	560	230	560	210	560	190	560	170	560
Мылонафт	760	0	270	0	110	0	100	0	0	0	0	0
Асидол-мылонафт	725	0	400	0	130	0	100	0	0	0	0	0

Таблица 1.4-2 Стойкость пены в зависимости от концентрации пенообразователя и щелочности среды пенообразования

Наименование ПАВ	Воздуховлечение, %, в зависимости от длительности перемешивания (мин) и концентрации пенообразователя (%)											
	2 мин		5 мин		10 мин		15 мин		20 мин		25 мин	
	0,05 %	0,15 %	0,05 %	0,15 %	0,05 %	0,15 %	0,05 %	0,15 %	0,05 %	0,15 %	0,05 %	0,15 %
Азолят А	35,8	59,2	38,2	65,0	39,4	68,7	42,2	70,0	44,0	72,0	44,6	75,2
ПО-1	37,2	47,0	41,1	56,0	46,3	61,8	50,3	68,0	56,3	68,9	57,8	69,4
Некаль	28,1	44,7	35,5	50,7	39,2	59,0	41,5	60,0	44,7	63,0	46,4	63,5
НЧК	31,5	43,8	37,2	52,0	43,0	63,0	47,5	68,8	52,1	70,6	54,3	74,9
Сульфол хлорный	34,2	44,9	35,0	47,2	35,4	51,0	36,4	53,4	37,0	55,7	37,6	59,2
СНВ	35,3	39,3	38,7	45,8	42,7	55,6	45,8	58,6	48,2	64,4	51,6	73,2
ЦНИИПС-1	21,2	35,3	21,8	37,0	21,8	39,9	21,8	41,3	21,8	42,3	21,8	44,1
Мылонафт	24,4	34,4	30,1	39,7	34,3	46,7	37,0	53,0	39,3	58,7	42,6	63,4
Асидол-мылонафт	24,3	31,0	29,8	34,3	36,3	41,0	37,2	45,0	40,0	47,5	42,3	50,0

Таблица 1.4-3 Способность к воздуховлечению различных пенообразователей в зависимости от концентрации пенообразователя, и длительности перемешивания

Комментарии к Таблице 4.

Воздуховлекающая способность ПАВ изучалась на цементно- и известково-песчаных растворах (соответственно, Ц/П=1 : 1,5 и И/П=1 : 3 – в данном обзоре все данные приведены частично, только для цементно-песчаных растворов).

В таблице 4 приведены данные для В/Ц=0,5, концентрации добавки (пенообразователя) по отношению к вяжущему – 0,05 % и 0,15 % (по сухому веществу). Растворы перемешивались в мешалке с сетчатыми лопастями при скорости вращения вала $n=250$ об/мин.

Внимание!!! Налицо серьезное упущение авторов – некорректно ссылаться только на скорость вращения вала смесителя, не указывая при этом его геометрические размеры (авторы ссылаются на «стандартный смеситель»). Правильней было бы указать окружную или угловую скорость.

а в конце – как можно ниже. Например, использовать подогретый раствор пенообразователя или воды и охлажденные заполнители.

Влияние водо-цементного (В/Ц) соотношения на процессы воздуховлечения при перемешивании изучалось в широком диапазоне, от В/Ц=0,3 до В/Ц=0,65. Выбор именно этого диапазона объясняется тем, что это типичные значения для различных приемов заводского производства ячеистых бетонов.

Исследованиями установлено, что увеличение В/Ц от 0,3 до 0,65 приводит к возрастанию объема воздуховлечения. Причем пик воздуховлечения для различных добавок различен, но он всегда ближе к большим показателям В/Ц (для ПО-1 этот пик находится при В/Ц=0,55). По достижению пика, дальнейшее увеличение В/Ц сопровождается незначительным снижением воздуховлечения.

Особенно велико влияние V/C на объем воздухововлечения в начале процесса перемешивания. Так, например, за 2 и 5 минут перемешивания при $V/C = 0,4$ объем вовлеченного воздуха для Азолята А в цементно-песчаной смеси составляет 7 % и 13 % соответственно. А при $V/C = 0,5$ эти цифры возрастают уже до 36 % и 40 % соответственно. Такое явление объясняется существенным изменением значений вязкости и предельного напряжения сдвига растворов при переходе от $V/C = 0,4$ к $V/C = 0,5$.

Это же объясняет и тот факт, почему сравнительно слабые пенообразователи (а в щелочной среде и вовсе никакие – мылонафт, асидол, асидол-мылонафт, а также новоявленный SDO-L) при их использовании в качестве пенообразователей для воздухововлечения, в процессе перемешивания водоцементных суспензий показывают довольно неплохие результаты. Все они достаточно мощные гидрофобизаторы, способные очень сильно изменять пластическую вязкость и тем самым опосредованно влиять на воздухововлечение.

Влияние скорости перемешивания на объем вовлеченного воздуха изучалось на мешалках как с сетчатыми, так и обычными лопастями.

Для мешалки с сетчатыми лопастями увеличение скорости перемешивания от 70 до 250 об/мин приводит к непрерывному нарастанию объема вовлеченного воздуха. Дальнейшее повышение оборотов до 326 об/мин не дает заметных изменений. А уже начиная с 400 об/мин наблюдается постепенное уменьшение воздухововлечения.

Для обычной лопастной мешалки оптимальной оказалась скорость 345–380 об/мин. Дальнейшее ее повышение приводит к снижению воздухововлечения.

Вовлечение воздуха в смесь из пространства над ее поверхностью происходит в результате образования каверн лопастями смесительного агрегата, что зависит от интенсивности нарушения цельной поверхности смеси. Поэтому при малых скоростях объем вовлекаемого воздуха незначителен. При увеличении скорости перемешивания сверх оптимальной разрыв пузырьков и выход воздуха на поверхность происходят интенсивнее, нежели процесс образования и дробления новых. В результате этого чрезмерное увеличение скорости перемешивания приводит к уменьшению объема вовлеченного воздуха.

Влияние длительности перемешивания на объем вовлеченного воздуха изучалось при перемешивании цементно-песчаного раствора с добавками различных пенообразователей в течение 90 минут. Несомненно, увеличение продолжительности перемешивания должно сопутствовать росту воздухововлечения. Однако установлено, что со временем скорость насыщения массы пузырьками неуклонно снижается, и дальнейшее перемешивание массы приводит к ее стабилизации. После достижения некоторого «критического воздухововлечения» возможно даже незначительное уменьшение объема вовлеченного воздуха.

Влияние типа смесительного агрегата на объем вовлеченного воздуха изучалось на мешалках с различным видом смесительного устройства: сетчатым, лопастным и червячным.

Опыты показали, что мешалка с сетчатым смесителем наиболее эффективна. Самый низкий объем вовлеченного воздуха наблюдался в мешалке с червячным смесителем. Большое воздухововлечение в мешалке с сетчатыми лопастями объясняется тем, что в ней область перемешивания, т.е. число точек соприкосновения лопасти и раствора, увеличивается, в результате чего объем вовлеченного воздуха возрастает.

Влияние вида вяжущего на воздухововлечение в процессе перемешивания изучалось при одних и тех же условиях на цементно-песчаном и известково-песчаном растворах. Экспериментом установлено, что воздухововлекающая способность ПАВ в цементно-песчаном растворе намного больше (в 1,5–3 раза в зависимости от вида ПАВ), чем в известково-песчаном.

Известно, что в производстве ячеистобетонных изделий воздухововлекающие ПАВ могут быть введены в смесь на различных стадиях технологического цикла. Поэтому наряду с введением водных растворов ПАВ непосредственно в смеситель была изучена и возможность их введения в мельницу при мокром помоле песка. В результате лабораторных опытов и их натурной апробации на Сумгайтском заводе бесцементно-вяжущих силикатных изделий и конструкций было установлено, что добавки ПАВ сильно интенсифицируют помол. Кроме того, полученный в результате помола пенно-песчаный шлам легко транспортируется по трубопроводам и способен сохраняться до 24 часов без признаков осадки, что свидетельствует об отсутствии седиментационных явлений в песчаном шламе с вовлеченным воздухом.

1.5 Дискуссии в Интернете по теме пенообразователей

В течение нескольких лет на сайте **www.ibeton.ru** работает интернет-форум, своего рода дискуссионный клуб, где, используя возможности Интернета, люди со всех концов планеты имеют возможность общаться, консультироваться, дискутировать и даже ссориться.

За последнее время форум на **ibeton** стал общепризнанным местом, где встречаются пенобетонщики, производители легких и тяжелых бетонов, а также производители оборудования для строительной отрасли. Острые, порой бескомпромиссные дискуссии, советы и пожелания от опытных производителей стройматериалов, наивные вопросы начинающих, консультации специалистов и практиков, – все это создало непередаваемую атмосферу, окунуться в которую стремятся русскоязычные специалисты со всего мира – от Австралии

и Израиля до Швеции и Канады. Разумеется, основную массу посетителей форума составляют представители СНГ, поэтому и обсуждение множества проблем строительного материаловедения постоянно крутится вокруг наших отечественных проблем.

Здесь и далее, в конце каждого раздела я, по возможности, буду приводить выдержки из дискуссий и обсуждений на форуме [ibeton](http://ibeton.ru). Одни из них короткие, другие вполне могут потянуть на солидную брошюру. Из-за ограниченности площади я буду приводить только отдельные фрагменты, показавшиеся мне наиболее интересными. А полностью ознакомиться со всеми материалами форума читатель сможет сам, посетив сайт www.ibeton.ru.

Игорь Анатольевич

Господа! Возьмите любой химический справочник или энциклопедию. Соли абиетиновой кислоты и многовалентных металлов, будь то кальций, железо, цинк, алюминий и пр. так же, как и соли жирных кислот этих же металлов, **АБСОЛЮТНО** нерастворимы в воде! И следовательно, никак не могут пениться! Стабилизируй их белковыми веществами или нет. И добавка кальциевых солей, которая на практике увеличивает активность клееканифольного пенообразователя, только ускорит дезактивацию канифольного мыла.

Но пенообразователь существует и работает! И вот мы берем формальный критерий – устойчивость пены, усиливаем его столь же формальным действием (добавляем коллаген) – и готово, имеем красивые цифры устойчивости пены новоявленного пенообразователя и абсолютно логическое объяснение того, как мы этого добились. А то обстоятельство, что уже через несколько минут после смешения этого пенообразователя с цементным раствором от основного пенообразующего компонента фактически ничего не остается и там уже совсем другая химия – это не столь важно...»

Сергей Ружинский

1. Жирные, нафтяные, нефтяные и смоляные кислоты практически со всеми металлами способны образовывать соли. Их обобщенно называют резинатами, или металлическими мылами (это грубое мое обобщение как по сути, так и терминологически, но детали не существенны для данной проблемы).
2. Практически всегда резинаты водонерастворимы. Поэтому говорить об их пенообразующей способности в воде бессмысленно.
3. Исключением из общего правила являются резинаты щелочных металлов – лития, натрия, калия, рубидия, цезия и франция. Такие водорастворимые резинаты называются мылами. В воде они гидролизуются. Их водные растворы обладают мощными эмульгирующими свойствами

и способностью к пенообразованию. На этой их особенности и держится все мыловарение. И производство пенобетонов.

4. Наиболее распространены мыла на основе натрия и калия. Их получают в результате реакции между кислотой (жирной, смоляной, нафтеновой или нефтяной) и щелочью – едким натром или едким кали.

Это тезисная информация из химической литературы. Любой после ее прочтения придет к сходным с Игорем Анатольевичем выводам. И усомнится в соображениях Ружинского, изложенных в рассылке № 5. И не станет копать занудные монографии в поисках парадокса – пенообразователь действительно работает, хотя это, казалось бы, противоречит основополагающим химическим законам.

А теперь давайте попробуем разобраться в сути вопроса. И поможет нам в этом Моисей Исаевич Хигерович (*М.И. Хигерович. «Гидрофобный цемент и гидрофобно пластифицирующие добавки». Гостройиздат, Москва. 1957 г.*)

Исходной предпосылкой в наших рассуждениях послужит то, что мы имеем несколько пенообразователей на основе жирных, смоляных, нефтяных и нафтеновых кислот, омыленных едким натром. То есть изначально водорастворимых и способных к пенообразованию в чистой воде.

Как они поведут себя в жесткой воде, перенасыщенной ионами кальция и магния (в составе бетонной композиции)? Ведь определять пенообразование и пеностойкость в чистой воде, а затем априори переносить полученные результаты на «грязную» воду не корректно, поскольку ионы натрия замещаются ионами кальция и магния и изначально водорастворимый состав превращается в водонерастворимый.

Далее цитирую М. И. Хигеревича:

«Действительно, пенообразующая способность ПАВ существенно меняется при переходе от чистой воды к содержащей ионы кальция и магния. Так, добавка мылонафта (*нафтенное мыло* - С.Р.) вызывает значительное пенообразование в дистиллированной воде, но в жесткой, а также в насыщенном растворе гидроокиси кальция пена практически не возникает<...>. Омыленная канифоль (*абиетат натрия* – С.Р.), наоборот, содействует образованию устойчивой пены в жесткой воде, а также в растворе гидрата окиси кальция».

При начальной высоте столба пены в 70 мм, через 15 минут пена, приготовленная на чистой воде, опала до примерно 10 мм, а на насыщенном растворе гидроокиси кальция всего до 60 мм. Для мылонафта, равно как и для омыленных жирных кислот, пенообразование в жесткой воде вообще практически отсутствует (на графиках его практически не видно).

И далее (цитирую):

«Полученные результаты не являются неожиданными. Давно известно, что в мягкой (дистиллированной) воде смоляные мыла щелочных металлов

пенятся не так сильно, как щелочные соли нафтеновых или жирных кислот, вследствие различной степени гидролиза. Известно также, что прибавление солей щелочно-земельных металлов (*соли кальция и магния – С.Р.*) существенно меняет растворимость и пенообразующую способность мыл. В жесткой воде смоляные мыла образуют значительную и довольно устойчивую пену, а мыла жирных и нафтеновых кислот в такой воде отличаются значительно меньшим пенообразующим действием. По этим причинам в мыловарении применяют канифоль (*как добавку к основному мылу на основе жирных кислот – С.Р.*), иначе мыло не будет мылиться в жесткой воде».

«Приведенным данным соответствуют результаты измерения поверхностного натяжения цементных систем. Нафтенат и олеат натрия существенно понижают поверхностное натяжение на границе «водный раствор – воздух» (*чем ниже поверхностное натяжение, тем сильнее пенообразование – С.Р.*), однако при введении извести или цементного порошка поверхностное натяжение становится почти таким же, как и у чистой воды. Смоляные кислоты, применяемые в качестве так называемых воздухововлекающих добавок, обладают прямо противоположными свойствами: поверхностная активность и пенообразующая способность смоляных мыл, наоборот, возрастают при замене иона натрия (*или калия, в зависимости от примененной для омыления щелочи – С.Р.*) ионом кальция».

«Добавка абиетата натрия к кремнеземистой пасте (*ионы кальция и магния отсутствуют – С.Р.*) вызвала практически ничтожное воздухововлечение (менее 1 %), а в присутствии гидроокиси кальция привела к вовлечению 5–27 % воздуха. В цементной пасте при введении 0,05 % той же добавки количество вовлеченного воздуха достигло 20 % (*в цементе меньше ионов кальция и магния, чем в извести – С.Р.*)».

Основываясь на вышеприведенном (и еще 208 стр. текста), в начале 60-х годов была разработана теория применения смоляных кислот для пенообразования в пенобетонах. А на основе этой теории, собственно, и родился клееканифольный пенообразователь. В наше время эту теорию модернизировали весьма незначительно, но эффективно. Это и явилось первопричиной возрождения пенообразователей на основе смоляных кислот, преподносимого некоторыми зарубежными производителями как едва ли не революция в пеногенерации при производстве ячеистых бетонов. А между тем дедушка Хигерович еще полвека назад, как говорится, все разложил по полочкам. Да так разложил, что и теперь ни один современный бетоновед – хоть наш, хоть зарубежный – не обходится без ссылок на его труды.

Игорь Анатольевич

Вернусь к тому, с чего я и начинал – к вопросу ценности той или иной информации в виде наиболее часто встречающихся вопросов:

1. Итак, «...пенообразователь, истинное химическое лицо которого сокрыто под торговой маркой, и не «раскрученный» на рынке химических добавок, интересен только его производителю». Так начиналось одно из писем от Сергея, которое я получил год назад.

«Вы даже и словом не обмолвились о такой важной характеристике разработанного Вами пенообразователя, как природа используемого в нем ПАВ» – укоряет от меня сейчас.

Да, никто из нас не хочет покупать kota в мешке и платить за него бешенные деньги. Но что реально дает нам информация о природе поверхностно-активных веществ, используемых в пенообразователе? Давайте рассуждать логично на примере того же клееканифольного пенообразователя.

Мне предлагают новый пенообразователь. Правдами и неправдами я выясняю, что это клееканифольный пенообразователь. Будем считать, что я ничего не знаю об этом продукте, что еще вчера его и в помине не было. Тогда я беру справочники, энциклопедии и читаю именно то, что так детально описал Сергей:

- смоляные кислоты способны образовывать соли практически со всеми металлами;
- в цементе полно водорастворимых солей кальция и алюминия плюс солевые ускорители схватывания-твердения;
- резинаты многовалентных металлов водонерастворимы, следовательно, говорить об их пенообразующей способности в воде бессмысленно.

Все, прочитанного мне будет достаточно, чтобы я отвернулся от этого продукта. От хорошего продукта! Ведь то, что я процитировал, написано даже в школьном учебнике, а вот то, что канифольное мыло хорошо пениться в цементном растворе – в монографии, изданной 40 лет назад. Насколько я понимаю, Сергей тоже предполагает именно такое развитие событий.

Так что же мне дала информация о том, что пенообразователь, который мне предлагают, основан на канифоли? Что даст информация всем остальным, если я скажу, что в наших нынешних пенообразователях применяются сарказиды? Можно ли на основании этого сделать хоть приблизительный вывод: хорош будет продукт или плох? Сомневаюсь! Такая информация нужна конкурентам, но не потребителю.

2 К вопросу широкого доступа к информации, в том числе к патентной. Или где бы надыбать рецептик?

Предположим, я прошерстил Интернет, публикации, патенты и т. д. и т. п. и нашел все-таки рецепт интересующего меня пенообразователя. Что дальше?

Здесь я вновь процитирую Сергея, точнее, сошлюсь на его рассылку, вып. 18, раздел «Как правильно зажарить шашлык». То, что шампур необходимо переворачивать только один раз, я слышу впервые. И, прочитав это, вполне

могу допустить, что шашлык, который делаю я, действительно получается хуже, чем мог бы.

То же самое и в вопросе приготовления пенообразователя. Ведь формальный состав того же клееканифольного пенообразователя до безобразия прост: канифоль+щелочь+клей. Казалось бы, бери, делай и пользуйся. Но почему у многих он не получается? Потому что и в технологии приготовления клееканифольного пенообразователя есть много нюансов, о которых нигде и никогда не пишется, но от которых очень сильно зависит качество получаемого продукта. Многие ли знают, что клей нельзя распускать выше определенной температуры, ибо в противном случае он теряет свои свойства? Что на устойчивость пены достаточно сильно влияет, будет ли клей распущен в канифольном растворе или же сначала в чистой воде. И вообще, кто сказал, что указанные в опубликованном рецепте пропорции компонентов оптимальны?

По собственному опыту знаю, что с одним и тем же составом клееканифольного пенообразователя, но приготовленного по-разному, можно получить устойчивость пены и 20 минут, и 5 часов; синерезис – 5 или 45 минут.

А как Вы думаете, другие пенообразователи делаются без таких же «ноухау»? Так что и в этом случае информация о составе продукта, о его рецептуре ничего не дает потребителю, разве что провоцирует людей, пытающихся воспроизвести продукт по такой прописи, на бессмысленную трату времени и денег.

3. Об увлечении формальными характеристиками пенообразователей.

Вы получили новый продукт и внимательно изучаете паспорт, в котором указаны физико-химические свойства пенообразователя. А что это вам дает?

Вспомним обычное мыло: пена прекрасная, стоит часами, а пенобетон с мылом не получить.

И зачем вам устойчивость чистой пены 24 часа, если эта пена уже через несколько минут после приготовления смешается с цементом? А там поверхностно-активные вещества вступят в химические реакции с компонентами цемента и получится уже совсем другая система, ничего общего с исходным составом не имеющая. Пример – тот же клееканифольный пенообразователь. Как свойства чистой пены омыленной канифоли (резината натрия) характеризуют пенообразующие свойства резината кальция? Да никак.

А кратность? У одних с пенообразователем «Х» получается пена кратностью 12, у других – 33. Так что мне, как производителю, писать в паспорте? И что это даст вам? У вас свой пеногенератор, со своими параметрами. И пену вы получите своей кратности.

А pH пенообразователя? Он-то зачем нужен? Он что, влияет на скорость гидратации цемента?

А внешний вид, плотность, запах и другие параметры? Что дают вам формальные характеристики пенообразователя? Пожалуй, только то, что в бочках

налит именно тот продукт, за который вы заплатили деньги, а не вода. Потому что то, как поведет себя пенообразователь в работе, по этим критериям вычислить не удастся.

Отсюда выводы:

1. Нельзя делать какие-либо серьезные выводы о продукте и его потребительских свойствах на основании формальных характеристик, сведениях о составе и прочей подобной информации, если до этого не попробовал его в работе. А вот, попробовав, уже можно сказать, что есть реальный факт, а что – пустая реклама. Прав был дедушка Ленин, когда говорил, что критерий истины – это практика.
2. Гораздо важнее не «грузить» участников форума историческими справками, рецептами и патентной информацией (ведь большинство из них – не химики), а больше останавливаться на прикладных аспектах применения тех или иных продуктов. Кто бы объяснил, почему пенобетон, полученный с использованием в качестве пенообразователя оксидов аминов рассыпается в труху, почему с пенообразователями на основе лаурилсульфата часто имеет место усадка, почему пенообразователи на основе *** не работают со шлакоцементом и т.д. и т.п.? И как наиболее разумно применять пенообразователи совместно с ускорителями схватывания-твердения цемента?

Как вы думаете, господа?

С уважением, Игорь Анатольевич

Сергей Ружинский

Ответ Игорю Александровичу (---.kursknet.ru)

По п. 1 «О ценности для потребителя информации о вещественном составе пенообразователей»

Ваш итоговый тезис по этому пункту: «Такая информация нужна конкурентам, но не потребителю» весьма спорный. Я думаю, что все как раз наоборот – отсутствие именно такой информации и является механизмом манипулирования потребителем.

Например, в статье на <http://ibeton.ru/a27.php> (в данной книге эта информация приведена в главе 1.4 – С.Р.) дана сводная информация по практически всем основным ПАВ, применяемым в пенообразователях по критериям кратности и стойкости пены, а также воздухововлекающему эффекту. Причем по исследованиям не 50-летней давности, а достаточно современным, начала 80-х. Да и проведенных общепризнанными мировыми корифеями пенообразователей.

Из обширнейшего исследования я там привел основные, по классам используемого ПАВ. А именно:

Азолят А, ПО-1, Сульфонол, НЧК – алкилбензосульфوناتы различного фракционного состава;

Некаль – нафталинсульфонат;

СНВ – чистые смоляные кислоты (клееканифольный пенообразователь);

ЦНИИПС-1 – по нынешнему СДО – смесь смоляных и жирных кислот;

Мылонафт и асидол-мылонафт – нафтеновые кислоты;

Причем все параметры пенообразования даны в зависимости как от концентрации, так и от среды пенообразования.

Исходя из этих сводных данных легко и просто прогнозировать поведение того или иного пенообразователя, руководствуясь исключительно вещественным составом используемого ПАВ. Располагая такой информацией, потребитель способен самостоятельно и без оглядки на рекламные материалы изготовителя сделать не приблизительный, а достаточно точный прогноз поведения того или иного пенообразователя.

Если уж и Адольф Петрович Меркин Вам не указ, я самоустраняюсь от обсуждения данного аспекта. Вы вправе скрывать вещественный состав своего пенообразователя, но выдавать это за чуть ли не заботу о потребителях – это уж слишком.

По п. 2 Какая информация является действительно ноу-хау

Все приведенные Вами ноу-хау на примере клееканифольного пенообразователя в формализованном виде сводятся к:

- учету количества неомыляемых в составе канифоли;
- кислотному числу канифоли;
- сортности канифоли;
- степени изополимеризации канифоли;
- степени чистоты и вида катиона щелочи, принятой для омыления.

А клей портится при температуре свыше 60 градусов по той же причине, что и куриный бульон, сваренный на бурном огне.

Все эти так называемые (Вами) ноу-хау рассматриваются в соответствующих разделах учебников типа «Химия жиров», «Химия терпенов» и т.д. Если прочесть такой учебник, то действительно можно подкорректировать базовую рецептуру и сделать клееканифольный пенообразователь особо высокого качества.

Если учебник не читать, можно воспользоваться некой усредненной рецептурой (которая приведена в рассылке) и получить столь же средний, но отнюдь не некачественный, пенообразователь. Там ведь все кратко, но очень четко написано. Сказано, например, сильно не греть, значит, нечего умничать, делай, как сказано или иди штудировать «Химию жиров».

И почему Вы решили, что у МНОГИХ не получается? У большинства как раз все и получается. Насколько мне известно.

Я более чем уверен, что суть основной массы всех так называемых ноу-хау не в фактическом производственном секрете, а в элементарнейшей неосведомленности. На первом, начальном этапе с этим можно бороться при помощи популяризаторской работы (рассылка тому пример). Второй этап – возможность доступа к первоисточникам. Вот для этого и следует сделать такую литературу общедоступной при помощи Интернета.

В Вашей трактовке доступность и прикладная ценность патентной литературы трактуется исключительно с позиций «надыбать рецептик». Я же рассматриваю эту проблему более широко и комплексно. И применительно не столько к каким-то узкохимическим аспектам, сколько к проблеме изготовления чего-либо КАЧЕСТВЕННОГО вообще. Того же пенобетона, например.

Любопытно, что не успел я заикнуться насчет общедоступности информации, как производители и хим. добавок, и пенообразователей, и оборудования так всполошились. Всяк на свой лад доказывает пагубность подобного действия – и на форумах, и по почте. Но что интересно, еще ни один потребитель – на кого, собственно, это и рассчитано, не сказал даже слова против. К чему бы это?

По п.3 Так ли уж «формальны» формальные параметры?

Что дают формальные параметры потребителям пенообразователя, т.е. пенобетонщикам?

1. Плотность – в соответствии с паспортными данным элементарно проверяется, «а не разбавили ли?» Но если даже и разбавили, всегда есть возможность пересчитать дозировку. А если производитель еще и указывает дозировки «по сухому веществу», то плотность становится мощным и управляемым технологическим параметром, облегчающим жизнь пенобетонщикам. (Учитывая это, я при малейшей возможности даю таблицы плотностей в рассылках.)

2. Органолептика – цвет, запах, консистенция – обязательные параметры, по которым можно достаточно точно определить как сохранность, так и предполагаемое качество продукта (гнилостный запах некоторых пенообразователей однозначно свидетельствует о начале энзимного разложения – хорошего пенобетона уже не будет; гидрофобизатор ГКЖ-12, например, «не пошел» и из-за неважного запаха, который приобретают строительные конструкции, пластификаторы «Дофен» и УПБ тоже «благоухают» так, что некоторые цементные комбинаты отказались от них как от интенсификаторов помола и т.д.).

3. pH пенообразователя – это опосредованное свидетельство соблюдения технологического регламента приготовления. Если грамотно распорядиться этим параметром, то и все проблемы Игоря Анатольевича (см. выше) по действительно качественному омылению канифоли решаются элементарно. Столь же просто и любой потребитель сможет проконтролировать производителя, хочет тот этого или нет. Кроме того, величина pH – это готовая рекомендация по

совместимости пенообразователя с ускорителями и пластификаторами. В конце концов, рН – это техника безопасности.

4. Кратность и устойчивость пены **ОБЯЗАТЕЛЬНО** должна приводиться и в чистой воде, и в присутствии гидроокисей кальция. Именно тогда эти показатели становятся ценными. А данные только для чистой воды – это действительно профанация.

5. Вид используемого ПАВ, а также рекомендуемые дозировки прямо и непосредственно влияют как на скорость схватывания цемента и набора пенобетонной структурной прочности, препятствующей осадке, так и на кинетику набора прочности и марочную прочность пенобетона, гидрофобизацию либо гидрофоблизацию порового пространства, совместимость с другими добавками и т. д.

Если подходить с позиции получения качественного конечного продукта (пенобетона), а не качества одного из его ингредиентов (пенообразователя), мои выводы таковы:

1. Прежде чем хоть что-то пробовать и экспериментировать, предоставление производителем таких параметров пенообразователя, как вещественный состав используемого ПАВ, рекомендуемые дозировки, набор формальных параметров (органолептика, плотность, рН, кратность, стойкость), следует считать не актом доброй воли а **ОБЯЗАТЕЛЬНЫМИ** характеристиками пенообразователей.

Если же вещественный состав пенообразователя скрыт за завесой коммерческой тайны, то где гарантия, что в нем нет тех же оксидов аминов, и, как гарантирует Игорь Анатольевич, через какое-то время он не рассыплется в труху? Ну а если он рассыплется через год после изготовления, то что – еще один Трансвааль?

(Когда Вы хотите попробовать новый сорт пива, на что Вы первым делом обращаете внимание? На формальные параметры – цену, форму бутылки, цвет этикетки, светлое/темное, сколько спирта, срок годности и т. д. Много ли найдется смельчаков, которые согласятся отхлебнуть из случайной бутылки без этикетки? Пусть даже сосед и гарантирует, что это «само то»).

2. Если производитель пенообразователя по каким-либо причинам подобную **ОБЯЗАТЕЛЬНУЮ** информацию не предоставляет, надо со всей ответственностью подойти к натурной апробации данного состава. Не ограничиваться текущими результатами, а провести комплексные испытания. Ведь в любом случае претензии по пенобетону будут предъявлять именно Вам, а не производителю пенообразователя.

Сергей(---.cable.mindspring.com)

Оказывается, там рецепт зашифрованный. Спасибо! Я столько времени угрохал, а вы тут просто в игры играете...

(Из обсуждения на форуме автор пришел к такому выводу относительно алюмосульфонефтяного пенообразователя – С.Р.)

Сергей Ружинский

Ответ Сергею (---.cable.mindspring.com)

Нет, рецепт не зашифрован. Вернее, он не зашифрован для специалистов. Ведь в той рассылке было сказано буквально следующее: «Он (*Контакт Петрова – С.Р.*) представляет собой высокомолекулярные моносульфоновые кислоты, полученные сульфированием (обработкой серной кислотой) нефтяных дистиллятов (отходов производства бензина и керосина из нефти)». Абсолютно исчерпывающая информация для специалистов.

Поэтому вопрос замены Контакта Петрова другими модификациями алкилбензосульфоновых кислот (АБСК), тем же НЧК, например, не представляется чем-то уж очень сложным – в рассылке так прямо об этом и говорится (не буду цитировать, сами перечитайте). Но это справедливо исключительно в случае узкопрофессионального подхода.

А в случае непрофессионального подхода, если Вы не химик с узкой специализацией, этот вопрос действительно превращается в практически неразрешимую проблему. И даже предельно упрощенное освещение сути вопроса вряд ли будет Вами реализовано. Так нужно ли, спрашивается, такое усложнение повествования рассылки, преследующей популяризаторские, а не научные цели? Для профессионалов ничего нового не будет, а непрофессионалы все равно не смогут этой информацией воспользоваться достаточно эффективно.

Вот вопрос, пришедший по e-mail, в связи с этой дискуссией:

> «Сам я не химик, поэтому для меня это очень сложно, а провести эксперименты хочется...

>1. Можно ли заменить НЧК на АБСК?»

И вот моя попытка более-менее популярно ответить на этот вопрос, с учетом самой его постановки (и если кто-нибудь из профессионалов сможет доходчивее и достовернее объяснить суть, я буду только благодарен).

Обобщенная формула алкилбензосульфоновых кислот (АБСК) :



В зависимости от технологических особенностей производства и сырья (керосин, бензол, газойлевый дистиллят, парафины, тетрамеры пропилена и т.д.) получают АБСК (или их смеси) с различным числом n, характеризующим количество атомов углерода в алкильной цепи. Полученные ПАВ имеют свою специфику применимости.

Огрубленно, исключительно для объяснения принципа, их можно разделить на:

- смачиватели (при $n < 14$);
- пенообразователи (при $n = 14$);
- пеногасители (при $n > 14$).

Контакт Петрова, как и НЧК (равно как и вся стая Сульфонов) – это смесь разных АБСК с n от 10 до 18. Поэтому-то они и могут одновременно применяться и как посредственные смачиватели, и как посредственные пенообразователи, и как посредственные пеногасители.

Если эту смесь разделить на фракции сообразно числу n , то можно уже получить три новых вещества: отличный смачиватель, отличный пенообразователь и отличный пеногаситель.

Так вот, для целей пенообразования наиболее подходит АБСК у которой $n=14$.

АБСК – это собирательное название. И если не учитывать этот n , то очень легко применить фракцию АБСК, совершенно не пригодную для целей пенообразования.

Используя же НЧК или контакт Петрова, Вы наверняка получите пусть не самый лучший из возможных, но достаточно работоспособный пенообразователь.

Но вот переход из формализованной рецептуры приготовления «посредственного» пенообразователя из контакта Петрова к получению «отличного» пенообразователя на основе тех же, но фракционированных АБСК, потребует уже некоего запаса знаний, достаточного хотя бы для того, чтобы понять, зачем в популяризированном описании, наряду с понятными килограммами отмеряемых ингредиентов, зачем-то даны (а действительно, зачем?) плотности их водных растворов на уровне действующих веществ.

А теперь задумайтесь, если даже такие простые вопросы (я имею в виду – с точки зрения инженера-химика) вызывают сложности, рационально ли браться за какое-либо химическое экспериментирование вообще? Оправдаются ли силы, время и деньги, затраченные на постижение всех этих химических премудростей, только ради того, чтобы состряпать пенообразователь, который хоть и несколько дешевле обойдется, но его характеристики будут весьма проблемными? Не проще ли будет (и не дешевле ли обойдется) сделать точно так, как там написано, или купить уже готовый состав и не морочить себе голову всей этой химической казуистикой?

Вот примерно такие цели и преследовал цикл по пенообразователям – убедительно и аргументированно показать, что даже приготовленные в любительских условиях пенообразователи действительно работоспособны. Но вот секретом действительно высокоэффективных составов является не их рецептура, а именно ЗНАНИЕ, каким образом эту рецептуру реализовать в натуральных условиях. Каким образом Вы воспользуетесь этим знанием – будете осваивать самостоятельно или купите его квинтэссенцию в форме серийного продукта, –

вторично. Главное, что именно такой подход исключает изготовление некачественного пенобетона.

Какие там ноу-хау и прочие секреты, Бог с Вами!.. Правда, только правда и ничего кроме правды. Но не вся правда. А вот под определение «не вся правда» подпадает такая, которой невозможно воспользоваться без узкоспециализированной подготовки, либо та, изложение которой выходит за рамки популяризаторского повествования с его девизом «Как сделать качественный пенобетон».

Руководствуясь теми рекомендациями (из рассылок), можно сначала, приготовить простейший, но достаточно качественный пенообразователь, и своими руками пощупать пенобетон, затем – пусть на начальном уровне – разобраться в основах химии пенообразователей. И только потом, если не исчезло желание производить пенобетон, осознанно и осмысленно подойти к выбору пенообразователя для серийного производства.

Алексей

Разрешите рассказать свою историю.

Я начинающий пенобетонщик, если можно так выразится. Хочу организовать производство пенобетона. Что мне делать, если нет соответствующего образования – ни химического (только школьный курс), ни строительного. Есть желание организовать производство пенобетона, есть Интернет и немного денег. С чего начать? Штудирую весь Интернет на наличие информации, связанной с пенобетоном. Нахожу ответы на нужные мне вопросы. Ищу поставщиков оборудования. А так как денег немного, стараюсь сделать подобное. Делаю, ошибаюсь, анализирую, спрашиваю, переделываю и т.д. – мне так выгоднее.

Ищу пенообразователь. На что обращаю внимание: цена, качество и как работает на местном сырье. Это можно узнать только экспериментальным путем. И никак иначе.

Как я уже писал выше, мною были испробованы пенообразователи *ПБ-2000*, *Ареком-4* и *СОФЭКС ПО-01*. Испробовал я и *Пионер-118*, пять литров которого мне бесплатно выслала фирма «ГОШ-лаборатория» в целях тестирования. Признаюсь, что пенообразователь мне очень сильно понравился. Я не знаю, из чего изготавливаются пенообразователи и почему они работают по-разному. Мне нужно от пенообразователя следующее: безопасность производства и использования, высокое качество конечной продукции (чтобы пенобетон не развалился через год, два, десять.), низкая цена.

Если изготовленный мною пенобетон будет соответствовать требованиям ГОСТ, то он найдет своего покупателя. И моя фирма будет работать. Именно этого я и пытаюсь добиться.

Я понимаю, что каждый шаг это деньги. Я не хозяин завода, который может себе позволить иметь лабораторию и анализировать каждую партию. Я не могу себе позволить делать исследования и обращаться за помощью к химикам.

Или хотя бы испытывать образцы на заводе ЖБИ. На первом этапе редко кто сможет себе это позволить. Как говорится в одном старом фильме, «Я не волшебник, я только учусь».

Соглашусь с тем, что очень тяжело общаться с глупыми, а точнее, непросвященными людьми. Но так устроена жизнь, что все рождаются такими, хотя одни поддаются обучению, а другие нет.

Скажите, уважаемый Сергей Ружинский, что делать тем миллионам людей, которые хотят что-то сделать и не могут, так как у них нет средств? Что им делать, если страна о них забыла? Руководители предприятий не заходят на этот форум. Говорю про них, так как считаю, что именно им была адресована реплика: «Вот когда, как Вы обещаете, проведете испытания, желательно, комплексные...». Думаю, что проведение комплексных испытаний оценивается Вами не в тысячи и даже не в десятки тысяч рублей. Таких испытаний я себе позволить не могу. Подскажите, можно ли их сделать в домашних условиях?

Сергей Ружинский

Подкупающе искренний Ваш ответ, Алексей.

Вот именно для таких, начинающих, но ищущих, по крохам собирающих знания с перспективой их воплощения, я и работаю. Я рад за Вас. Вы многому еще учитесь, но Вы на правильном пути.

А разгоревшаяся выше дискуссия – это уже узкопрофессиональные разборки по выяснению профессиональных истин.

Уж извините, если я Вас ненароком обидел.

Игорь

Добрый день! Наверное, пришло время озвучить и мне свое мнение. Я разработчик пенообразователей, выпускаемых под торговой маркой «Пионер». Что касается исчезновения объявления Алексея, в котором были даны реквизиты нашей фирмы, то если правила форума действительно предусматривают запрет на рекламу, это правильное решение. Что касается потребительских свойств наших продуктов – тоже вполне естественно, что в разных руках они ведет себя по-разному. Ведь очень различно качество цемента в разных регионах нашей страны, различны добавки, применяемые для ускорения процесса схватывания-твердения, различно аппаратурное оформление вроде бы одного и того же технологического процесса, различны дозировки реагентов. И разве *Пеностром*, *ПБ-2000*, *Ареком-4* являются такими продуктами, которые одинаково и безупречно ведут себя при любом применении? ;).

Теперь несколько слов о реплике Сергея Ружинского, который, как всегда, выступил на форуме со всей своей безапелляционностью и преисполненный чувства собственной значимости. Так вот, коллега, хочу сказать Вам следую-

щее. Заслуг советского бетоноведения никто здесь отрицать не собирается. Но в те годы, когда был сделан этот задел, наши «Москвичи» и «Волги» тоже продавались на Запад на ура. А сегодня весь мир ездит на «БМВ», «мерседесах» и «ауди». И только мы продолжаем производить «Москвичи» и «Волги». Такие же, какими они были 30 лет назад. Десять лет назад мы потешались и плевались от китайских игрушек, обуви и тряпок. Сегодня китайцы держат около 80% мирового рынка игрушек, 60% американского рынка трикотажа, делают микросхемы и персональные компьютеры. Производят продукцию совсем другого качества. Кто вкладывал в них деньги? Государство? Нет – мы! Их учебу оплатили мы. Так же, как оплатили становление кожевенной промышленности и курортного бизнеса в Турции. А сами что? До сих пор сидим и рассуждаем о былом величии и потерянном наследии? Что нового нами сделано за прошедшие 10 лет? Что нового лично Вами, Сергей, сделано за прошедшие 10 лет?

Так что если Вы действительно обладаете ЗНАНИЯМИ и желаете донести их до участников настоящего форума, будьте терпимей к тем людям, кто хочет чего-то добиться, и к результатам их труда. И всегда помните, что с точки зрения профессионального химика Вы сами ОЧЕНЬ безупречны в том, что излагаете в своих рассылках и цитируете на форумах. Что же касается дилетантства ... В той или иной степени оно сопровождает любое поступательное движение. И только через какое-то время кто-то из дилетантов становится профессионалом, а кто-то уходит в небытие. Но часто именно дилетант дает бесценный опыт, идею, толчок, иной взгляд на вещи. Потому что он, дилетант, в отличие от Вас не знает, что так делать нельзя. И пробует. И как ни странно, у него не так уж и редко получаются весьма интересные вещи. Поэтому хочу сказать спасибо всем тем, кто не рассуждает, а делает: Алексею из Новосибирска, Александру – модератору настоящего форума, Ивану Степановичу из Львова. Всем специалистам других неназванных мною 49 частных, акционерных и государственных предприятий России, Украины и Казахстана, кто принял предложение провести испытания наших пенообразователей, дал свое заключение и уже работает с ними. Всем остальным участникам этого форума.

Я с благодарностью выслушаю мнение любого, кто имел возможность познакомиться с нашими продуктами или сделает это в дальнейшем. Конечно, было бы очень хорошо, чтобы Ваше мнение подкреплялось какими-либо фактами. Пусть даже на описательном уровне. А вот взвизгивания о «НЕНАУЧНОСТИ фактажа» мне неинтересны. С уважением!

Игорь Анатольевич

Сергей Ружинский

Раз пошла такая пьянка, то обидеть меня, чтобы я замолчал, вам, Игорь Анатольевич, вряд ли удастся...

Тем более что вопрос был задан непосредственно мне: «Что я сделал нового за последнее время?»

Каверзный вопрос. Хитрый. Самой своей постановкой предопределяющий его риторичность.

Действительно, развернуто и убедительно ответишь не него – дети оголодают. Кратенько вякнешь в свою защиту – как «сам дурак» истолкуют.

Ой как я понимаю Вас, Игорь Анатольевич, когда очень расширенно рассказав о преимуществах иного подхода к развитию технического прогресса, Вы даже словом не обмолвились о такой важной характеристике разработанного Вами пенообразователя, как природа используемого в нем ПАВ. Действительно, попробуй только официально заикнуться про приснопамятную АБСК (мир тесен, куда ж без нее, родимой) сразу же вылезет какой-нибудь крендель типа Ружинского и поинтересуется, а чем же это, собственно, новинка так уж кардинально отличается от дедушкиного «Алюмосульфонефтяного», кроме цены?

А вообще-то эта тема не нова, и вот как я на нее в свое время ответил (приведенный ниже текст касается противоморозных добавок, но он вполне справедлив и для данного случая).

«8.39 Предлагают некую противоморозную добавку - новейшую разработку талантливого изобретателя. Утверждают, что она намного лучше остальных, поэтому ее рецептура засекречена. Стоит ли верить?»

Все добавки, разрешаемые строительным законодательством к массовому применению, в том числе и противоморозные, проходят длительный и тернистый путь испытаний, проверок и натуральных экспериментов. Только изучив особенности их производства и использования, положительные и отрицательные качества, неизбежные побочные эффекты или проблемы реального применения, приходят к решению о возможности их массового применения. Так, например, только в одном из институтов - НИИЖБе, за последние 40 лет проработано более 75 научно-исследовательских тем, посвященных вопросам зимних работ. При этом было проведено более 150000 различных экспериментов, каждый из которых состоит из сотен опытов. (Трудоемкость сравнительно-оценочных испытаний шести добавок составляет более 400 человеко-дней.)

Подобные фундаментальные исследования проводятся в рамках целевых государственных программ, финансируются из госбюджета и выполняются специальными научно-исследовательскими организациями, обладающими мощной лабораторной базой и высококвалифицированными специалистами. Предварительные лабораторные исследования апробируются и перепроверяются на натуральных полигонах в различных погодно-климатических условиях – от Баренцева моря до пустыни Каракумы, на разных цементах, заполнителях и технологиях ведения работ. Полученные результаты выливаются в конкретные рекомендации по применению той или иной добавки, публикуются в специализированных

изданиях и отраслевой периодике. Эта информация свободно распространяется и пропагандируется среди строителей и доступна в большинстве технических библиотек.

Если, прикрываясь коммерческой тайной, пытаются скрыть истинное химическое название или рецептуру добавки, стоит очень взвешенно и критично подойти к подобному предложению. Какими бы красочными ни были рекламные буклеты, какими бы убедительными ни казались заключения экспертов, они порой не стоят и бумаги, на которой напечатаны.

У подобных предложений, как правило, самый большой секрет в том, что никакого секрета-то и нет. А предлагаемая добавка есть ничем иным, как давно применяющимся веществом под новым торговым названием, в рекламных целях наделенным феноменальной эффективностью».

Игорь Анатольевич, никто не посягает на Ваше право как человека высказывать свое мнение. Но если Вы высказываете свое мнение как химик, будьте добры оперировать категориями, применимыми в точных науках. 49 внештатных участников Вашей экспериментальной апробации – это беллетристика. А вот стойкость пены, кратность, влияние на кинетику набора прочности, хранимость, химическая природа ПАВ и стабилизатора – это уже слова профессионала. Что мешает Вам как химику вести дискуссию именно в этом ключе?

Вы меня упрекаете, что я в своих публикациях не всегда научно достоверен. Согласен. Наверняка я где-то или привираю, или неточно излагаю свою мысль, или тривиально заблуждаюсь. Порой приходится идти на умышленные упрощения в угоду доходчивости и читабельности. Маленький кусочек про дзэта-потенциал я, например, две недели «вылизывал», но он все равно далек от совершенства, знаю. Ну так помогите мне – покритикуйте, поругайте, пополемизируйте, наконец, гадость по почте отправьте, если болеете за дело. Какая-никакая, а обратная связь. И механизм установления ИСТИНЫ. А так приходится выслушивать «всю правду о себе» только когда наступишь на очередную коммерческую мозоль.

Цикл по пенообразователям был написан не для того чтобы поощрить кустарное алхимничанье, а чтобы убедительно и аргументированно доказать, что покупать готовые пенообразователи проще и экономически целесообразнее. И поднять планку познаний пенобетонщиков в этом вопросе, чтобы при принятии решения в пользу того или иного пенообразователя главенствующую роль играла достоверная, научная и проверяемая информация а не «какие-либо факты на описательном уровне».

Скажу больше – не за горами то время, когда в Интернете будут выложены на всеобщее обозрение все фундаментальные труды как по бетоноведению, так и по ПАВ и пеногенерации. Вплоть до патентной информации. И эксклюзивность доступа к информации больше не станет механизмом получения прибыли

ли. Считаю, это достойное занятие. Подключайтесь – кто за идею, а не за голый коммерческий интерес.

(Вышеприведенное сообщение было сделано мною на форуме сайта www.ibeton.ru в декабре 2004 г. А уже в июле 2005 г. на этом сайте начала работать «Электронная библиотека строителя».

В настоящий момент в ней находится более 400 книг по строительному материаловедению и смежным областям. Доступ к библиотеке свободный, бесплатный, беспарольный и без каких-либо дополнительных условий или ограничений. Теперь любой человек на планете может посредством Интернета получить доступ практически ко всему научному наследию по прикладному и научному бетонствованию, изданному в СССР.

Проблема информационного вакуума по данной проблематике закрыта раз и навсегда.)

Zagdyn.O

Подскажите, пожалуйста, ктонибудь знает или использует стабилизатор, называемый «Трианолом»? Год назад купили в Кемерове стабилизатор «Трианол» и пенообразователь ПО-6ОСТ. Но до сих пор не знаем, что за вещество «Трианол», какие у него основные свойства и какое оптимальное условие его растворения. А то он очень плохо растворяется в воде. ПО-6ОСТ тоже после хранения незнамо сколько еще лежал у продавца и производителей до нашего приобретения, уже начал кристаллизоваться снизу. Посоветуйте, пожалуйста, как нам решить эти проблемы, чтобы получить нормальные блоки! Заранее благодарен.

Сергей Ружинский (---.itl.net.ua)

До настоящего времени еще не разработано окончательной и исчерпывающей теории устойчивости пен. Одни исследователи считают, что их стабилизация возможна при замедлении утонения или растяжения пленок. Другие полагают, что стабильность пены зависит от ее структурно-механических свойств и интенсивности исхода жидкости с их поверхности. Третьи на «черных пленках» помешались – такое городят, в самый раз от бессонницы читать...

В любом случае в специальной литературе приводится множество способов стабилизации пен, найденных как научно обоснованным экспериментальным путем, так и методом «научного тыка» или вообще случайным образом. И хоть механизм стабилизации пен так до конца и не изучен, это нисколько не мешает использовать его на практике.

Особый интерес представляют методы стабилизации пены при помощи специальных химических веществ, так называемых стабилизаторов – дешево и просто. Их действие основано на увеличении вязкости растворов и замедлении из-за этого истечения жидкости из пен. Иногда происходит внедрение

молекул стабилизатора в «частокол» молекул пенообразователя в пленках пены и связывание их в прочные и устойчивые объединения. Стабилизаторы пен могут быть растворимыми и нерастворимыми, органическими и минеральными (электролиты).

Все стабилизаторы по принципу упрочняющего действия на пены подразделяются на пять групп.

К первой группе относятся вещества, повышающие вязкость самого пенообразующего раствора, их еще называют загустителями. Такие вещества следует добавлять к раствору пенообразователя в больших концентрациях. Это глицерин, этиленгликоль, метилцеллюлоза, карбоксиметилцеллюлоза (клей *КМЦ*). Производные целлюлозы уже при одно-двухпроцентной дозировке увеличивают вязкость раствора и устойчивость пены в десятки раз, а вот глицерин эффективен только при концентрации 15–20 %.

Производные целлюлозы в качестве стабилизаторов широко применяются в буровой практике, глицерин – в парфюмерно-косметической промышленности. В производстве пенобетонных стабилизаторы этой группы практически не используются. И в первую очередь из-за их негативного влияния на кинетику набора прочности цементом – весьма критичный параметр именно для пенобетонных.

Вторую группу составляют вещества, вызывающие образование в пленках пены особых веществ – коллоидов. В результате этого обезвоживание пленок очень сильно замедляется. Коллоидные стабилизаторы являются более эффективными загустителями, чем вещества первой группы. Типичные представители стабилизаторов второй группы – столярный клей, желатина, крахмал, агар-агар, альгинат натрия и т.д. Эти вещества в количестве 0,2–0,3 % от массы пенообразователя увеличивают вязкость жидкости в пленках более чем в 100 раз, устойчивость пен возрастает при этом в 2–8 раз. Данный тип стабилизаторов широко применяется в кондитерской промышленности при изготовлении мороженого, тортов, пастилы и т.д.

В строительной практике клееканифольный пенообразователь застabilизирован именно таким коллагеном животного происхождения – столярным клеем.

Вещества, полимеризующиеся в объеме пены, относятся к третьей группе стабилизаторов. Полимеризация сильно увеличивает прочность пленок, возможен даже их переход в твердое состояние. Это наиболее эффективные стабилизаторы. В одних случаях это полимерные композиции – синтетические смолы, например, карбамидные, в других – латексы. Для работы в строительных системах со щелочной средой, перенасыщенной гидроокисью кальция (известковые и цементные бетоны и растворы), подходит только застabilизированный латекс *СКС-65ГП* – Воронеж). Стабилизаторы этого типа в основном используются для изготовления «твердых» строительных пен – пенопласт, пеноизол, пенополиуретан и т.д.

Вещества четвертой группы образуют с пенообразователем нерастворимые в воде высокодисперсные осадки, бронирующие пленки и препятствующие их разрушению. Это наиболее дешевые и широко распространенные стабилизаторы. К ним относятся соли металлов – железа, меди, бария, реже алюминия. В пены вводятся очень небольшие добавки этих веществ. Сернокислое железо, например стабилизатор так называемых «белковых» пенообразователей (хотя все они, даже «не наши», всю жизнь делались из боенской крови, просто из этических соображений данный факт особенно не афишируется).

Добавки, участвующие в построении адсорбционных слоев на границе раздела «жидкость – газ», представляют пятую группу. Обычно это высшие жирные спирты. При введении всего 0,05% такого спирта в растворы пенообразователей сильно снижается поверхностное натяжение смеси, и за счет этого устойчивость пен повышается, порой многократно. Применяют в основном тетрадециловый спирт. Стабилизаторы этого типа – суть ноу-хау некоторых импортных пенообразователей, применяемых в пенобетонных технологиях. Их точная рецептура охраняется патентным законодательством. Я не уполномочен больше распространяться на эту тему.

Есть еще один способ повышения стабильности пен (самый интересный именно отечественным пенобетонщикам, так как по сути является дармовым подарком природы) – это бронирование газовых пузырьков микронаполнителями. Для этого в пены вводят тонкоизмельченные твердые вещества (тальк, асбест, кварц, сажу), которые, равномерно распределяясь на поверхности пузырьков, упрочняют пленки и продлевают жизнь пены. Такие пены называют минерализованными, агрегатными или трехфазными

Образование устойчивой минерализованной пены происходит за счет прилипания твердых минеральных частиц к пузырькам пены. Оно обусловлено пониженной (иногда избирательной) смачиваемостью таких твердых минеральных зерен. Минерализованные пузырьки постепенно сближаются и способны даже образовывать сплошнаячеистую минерализованную пену, в которой каждая воздушная ячейка полностью бронирована большим количеством твердых частиц. Такие пены получаются, например, при флотации угля. Содержание твердого вещества в них достигает 50% от массы пены. Интенсивность прилипания твердых частиц к пузырькам пены обусловлена силами взаимодействия между поверхностью твердой фазы и полярными группами ПАВ. Большое влияние на бронирование оказывает размер твердых частиц, а также соотношение размеров зерна и газового пузырька – более тонкие порошки позволяют получить и более прочные пленки. Крупные частички, даже в незначительном количестве присутствующие в смеси с мелкими, уменьшают прочность пены или даже разрушают ее.

Степень минерализации пены зависит не только от размеров, но и от числа частиц, состояния поверхности, от их смачиваемости жидкой фазой, способа

введения частиц в пену и многого другого. Однозначно указать оптимальный размер частиц для различных практических случаев минерализации пены невозможно – требуется эксперимент. В одних случаях порошки и мелкие волокна разрушают пены, в других такие трехфазные пены образуют жесткий каркас (агрегатная пена), способный сохранять устойчивость длительное время. Одно можно сказать с уверенностью: предпочтительным для минерализации пены является большое различие в размерах воздушного пузырька и твердой частицы и неупругое их соударение при встрече, поскольку прилипание тем эффективнее, чем значительнее потеря кинетической энергии. На понятный язык последний тезис можно перевести следующим образом: «при прочих равных условиях с увеличением скорости перемешивания минерализатора с пеной стойкость последней увеличивается».

Механизм стабилизации трехфазных пен (газ-жидкость-твердые частицы) объясняют в первую очередь сужением каналов Плато. В результате уменьшения «свободного диаметра» канала скорость истечения жидкости замедляется, а пробки из зерен, не прилипших к пузырькам, дополнительно закупоривают эти каналы.

Стабилизация пен подобным образом широко применяется в пенобетонных технологиях. Но наибольшую эффективность она показывает на рецептурах, в которых отсутствует крупный заполнитель (песок). Либо осуществляется предварительный помол (домол) ингредиентов. Либо вместо песка используется заполнитель, приближающийся по своей размерности к бронирующему пену цементу; это могут быть молотые песок, известняк, мел, зола-унос тепловых электростанций и т.д.

В индустриальном производстве пенобетона, пенокерамзитобетона, пеноперлитобетона и т.д., особенно конструкционных марок плотностью от 1000 кг/м³ и выше, для этих целей обычно используется недорогой и доступный пенообразователь *СДО* (смола древесная омыленная), продукт омыления древесных пеков переработки хвойных (*СДО*) и лиственных (*СДО-L*) пород на уксусную кислоту. Особую любовь «промышленных» пенобетонщиков эти пенообразователи снискали еще и потому, что в этих составах всегда присутствует некоторое количество омыленных жирных кислот. Вкупе с гидроокисью кальция, путем замещающих реакций по кальцию, они переходят в водонерастворимые кальциевые мыла, которые дополнительно укрепляют стенки пузырьков пены – происходит своего рода полимеризация, как в стабилизаторах 3-го типа.

Ответить развернуто и по существу на Ваш вопрос не представляется возможным, так как за торговым названием «Стабилизатор Трианол», по всей видимости, скрывается некое вещество неизвестной природы. В фармацевтике, например, применяется лекарство, которое тоже называется Трианол, из какой-то африканской сливы его делают...

Судя по тому, что производитель его рекомендует использовать вкупе с пенообразователем, изготовленным на основе сульфированных нефтяных кислот, это скорее всего кальциевый сульфонол – во всяком случае он наиболее широко применяется именно для стабилизации подобных пенообразователей при производстве буровых работ. Вполне вероятно также, что это простейший серноокислый глинозем (еще прадеды на нем работали), из коммерческих соображений «возведенный в графья» звучным именем. О механизме его работы очень подробно (мне кажется, подробней уже некуда) рассказано в рассылке, посвященной алюмосульфонефтяным пенообразователям.

А вообще, по трианолу как стабилизатору строительных пен и чуть-ли не «гаранту» (?) получения качественного пенобетона в последнее время в Интернете достаточно отчетливо прослеживается некая рекламная акция, весьма ловко реализованная и, кстати, ненавязчиво оформленная (спасибо и на том). Вполне возможно, что ее цель – вывести на рынок давно проверенный и эффективный ингредиент пенобетонных технологий, но под новой и официально зарегистрированной торговой маркой.

Иван (195.58.240.---)

Хочу попробовать изготовить пенообразователь, купил натр едкий и все остальное. Подскажите, пожалуйста, раствор удельным весом 1,17. Это как?

Сергей Ружинский (---.itl.net.ua)

Плотность как физическое понятие и способы ее измерения в водных растворах.

Плотность – это масса вещества, поделенная на занимаемый им объем. Измеряется в килограммах на кубический метр – $\text{кг}/\text{м}^3$ (граммах на кубический сантиметр – $\text{г}/\text{см}^3$).

Например, плотность дистиллированной воды при $+4^\circ\text{C}$ – $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$. В целях упрощения обычно говорят, что плотность воды равна единице.

Именно плотность воды при $+4^\circ\text{C}$ принята за эталон, за точку отсчета при определении плотностей других растворов (и не только водных).

Если в воде растворить некие вещества, то плотность водного раствора изменится. На этом принципе основан метод определения количества вещества, растворенного в водной среде.

Измерение осуществляют специальным прибором, который называется ареометром. Любой автомобилист знаком с этим прибором – ареометром измеряется плотность электролита.

Методика работы с ним элементарна – достаточно опустить его в любой водный раствор и отсчитать по шкале, насколько он погрузился в жидкость.

%	Плотность водных растворов натрия гидроокиси (NaOH) в зависимости от температуры						
	0 °C	15 °C	20 °C	40 °C	60 °C	80 °C	100 °C
1	1,0124	1,01065	1,0095	1,0033	0,9941	0,9824	0,9693
2	1,0244	1,02198	1,0207	1,0139	1,0045	0,9929	0,9797
4	1,0482	1,04441	1,0428	1,0352	1,0254	1,0139	1,0009
8	1,0943	1,08887	1,0869	1,0780	1,0676	1,0560	1,0432
12	1,1399	1,13327	1,1309	1,1210	1,1101	1,0983	1,0855
16	1,1849	1,17761	1,1751	1,1645	1,1531	1,1408	1,1277
20	1,2296	1,22183	1,2191	1,2079	1,1960	1,1833	1,1700
24	1,2741	1,26582	1,2629	1,2512	1,2388	1,2259	1,2124
28	1,3185	1,3094	1,3064	1,2942	1,2814	1,2682	1,2546
32	1,3614	1,3520	1,3490	1,3362	1,3332	1,3097	1,2960
36	1,4030	1,3933	1,3900	1,3768	1,3634	1,3498	1,3360
40	1,4435	1,4334	1,4300	1,4164	1,4027	1,3889	1,3750
44	1,4825	1,4720	1,4685	1,4545	1,4405	1,4266	1,4127
48	1,5210	1,5102	1,5065	1,4922	1,4781	1,4641	1,4503
50	1,5400	1,5290	1,5253	1,5109	1,4967	1,4827	1,4690

Таблица 1.5.1

Очень часто ареометры выпускаются для специализированных измерений – молока, сахара, спирта, электролита и т. д. Тогда они изначально проградуированы на измеряемое вещество.

Если Вы измеряете таким ареометром плотность водного раствора иного вещества, необходима специальная таблица, рассчитанная именно на это вещество. В качестве примера привожу таблицу для едкого натра (NaOH) (см. *таблицу 1.5.1*).

Вода и все ее растворы при изменении окружающей температуры изменяет свой объем. Соответственно, изменяется и плотность. Поэтому в подобных таблицах всегда указывается температура, для которой она справедлива. Если нет возможности выдержать температуру, предусмотренную в таблице, следует использовать специальные поправочные температурные коэффициенты. За подробностями обратитесь в специализированные справочники.

Некоторые ареометры, применяемые в быту.

1. Лактометр бытовой

Предназначен для измерения плотности молока и других жидкостей в диапазоне 1000–1050 кг/м³ (1,0–1,05)

Цена деления шкалы 0,5 кг/м³

Допустимая погрешность ± 0.5 кг/м³

2. Солемер бытовой

Предназначен для измерения плотности и количества поваренной соли (NaCl) в водных растворах. Может быть использован в качестве ареометра общего назначения для измерения плотностей в диапазоне 1000–1200 кг/м³ (1,0–1,2).

Цена деления шкалы 0,5 кг/м³

Допустимая погрешность $\pm 0,5$ кг/м³

3. Уринометр бытовой.

Предназначен для измерения плотности мочи. Может быть использован в качестве ареометра общего назначения в диапазоне 1000–1050 кг/м³ (1,0–1,05).

Цена деления шкалы 1 кг/м³

Допустимая погрешность ± 1 кг/м³

4. Сахаромер для свекловичного сахара бытовой.

Предназначен для измерения плотности и количества сахара в водных растворах. Может быть использован в качестве ареометра общего назначения в диапазоне 1000–1120 кг/м³ (1,0–1,12).

Цена деления шкалы 5 кг/м³

Допустимая погрешность ± 5 кг/м³

5. Ареометр для концентрированных кислот и глазури

Предназначен для измерения плотности концентрированных электролитов в водных растворах. Может быть использован в качестве ареометра общего назначения в диапазоне 1300–1800 кг/м³ (1,3–1,8).

Цена деления шкалы 10 кг/м³

Допустимая погрешность ± 10 кг/м³

6. Набор автолюбителя.

Набор ареометров (1–3 шт.), предназначенных для измерения плотности водных растворов жидкостей, применяемых в автомобилях (кислотный и щелочной электролиты, охлаждающая жидкость). Набор может быть использован для измерения плотностей водных растворов любых веществ. А именно:

- ареометр для электролита – диапазон 1150–1300 кг/м³ (1,15–1,3), цена деления 10 кг/м³;
- ареометр для тосола – диапазон 1000–1150 кг/м³ (1,0–1,15), цена деления 10 кг/м³.

Игорь Семенов (194.44.253.---)

Какие используются пенообразователи в Украине?

Какие хуже, а какие лучше в сравнении?

Можно ли использовать пожарный пенообразователь, какие у него недостатки, преимущества?

Где достать, купить, как сделать самому (пенообразователь)?

Какие цены?

Буду рад прочитать все ответы.

Сергей Ружинский (---.itl.net.ua)

Украинские пенообразователи.

Существует несколько тысяч различных поверхностно-активных веществ (ПАВ). Но все они «укладываются» в 4 класса:

1. Анионактивные:
 - мыло;
 - алкилсульфаты;
 - алкилсульфонаты;
2. Катионактивные.
3. Неионогенные.
4. Амфотерные.

В качестве пенообразователей для различных отраслей промышленности наибольшее применение получили представители первого класса – алкилсульфонаты, а если быть точнее – алкилбензосульффонаты (АБС), продукт сульфирования бензола серной или хлорсульфоновой кислотами.

В этом году во всем мире будет произведено более 3 миллионов тонн АБС – это основа всех современных синтетических моющих средств.

Разумеется, к такому мощному «паровозу» подцепляются все кому не лень. Везде, где требуется пенообразование, стараются использовать именно АБС – производство-то крупнотоннажное, а значит, и пенообразователь дешевый. А если что-то кого-то в АБС не устраивает, их попросту модифицируют реагентами и подстраивают под конкретные нужды.

В европейской части СССР одним из крупнейших производителей АБС (и потребителей для собственной гаммы моющих средств) является Шебекино Белгородской обл.

Украина в свое время тоже намеревалась освоить производство АБС – в Горловке Донецкой обл. пытались делать «самостийные» пенообразователи. Увы, завод обанкротился, сейчас там санация; буквально на днях плакались – с молотка, мол, идут.

Короче, в Украине собственного производства ПАВ нет. И, наверное, вряд ли будет. Тягаться с ближайшим Шебекино (от Харькова рукой подать), в который в свое время СССР вбухал миллиарды долларов, просто глупо с экономи-

ческой точки зрения – дешевле покупать. Одна хлорсульфоновая кислота чего стоит... Да и сырого бензола или других альфа-олефинов своих нет, как и нефти – Бог обделил. А гнать их из коксующихся углей – золотая АБС получится.

На основе Шебекинского АБС производится целая гамма различных пенообразователей для разных отраслей промышленности. В первую очередь, конечно, для нефтедобычи и пожаротушения – серия ТЭАС.

Для работы на высокоминерализованных пластах требуется, чтобы пенообразователь не боялся солей жесткости – кальциевых и магниевых. Сходная ситуация и в бетонных композициях, где ионы кальция «зашкаливают» pH среды в сильно щелочную область. Вот и выпускается специальный ТЭАС-А, -М, -П, который специальным образом застabilизирован для работы в очень жесткой и щелочной среде.

Утверждать, что в Харькове производят пенообразователь ТЭАС, было бы весьма опрометчиво, скорее перепродают. Тем более что даже торговая марка «ТЭАС» принадлежит Шебекино.

1.6 Серийнопроизводимые пенообразователи для изготовления пенобетона

1.6.1 Основные требования, налагаемые на пенообразователи, применяемые для производства пенобетона

В настоящее время выпускается множество различных пенообразователей. Но любой из них, существующий на рынке производства пенобетона, должен удовлетворять следующим требованиям:

– **техничко-экономические**

Расход пенообразователя в денежном выражении не должен превышать 2 \$ на 1 м³ производимого пенобетона. При превышении этого показателя его применение становится экономически нецелесообразным из-за большого влияния на себестоимость продукции. Причем очевидно, что более дорогие пенообразователи не увеличат качество продукции в соответствии с увеличенной стоимостью. Этот критерий сразу отсекает все импортные пенообразователи и оставляет российские.

– **постоянство свойств независимо от партии**

Пенообразователь должен иметь одинаковые характеристики независимо от партии и времени выпуска. В противном случае понадобится постоянная перенастройка технологического процесса производства, без которой неминуемо снижение качества продукции.

– достаточный срок хранения

Пенообразователь должен иметь срок хранения не менее 1 года. Если он меньше, то придется закупать пенообразователь мелкими партиями и постоянно докупать новые. Это может быть проблематичным в связи с большим временем доставки по железной дороге и удаленностью некоторых производств. К тому же после окончания строительного сезона и значительном снижении объема производства невостребованный пенообразователь может вообще испортиться до следующего сезона.

– малый расход

Расход пенообразователя не должен превышать 1,5 литра на 1 м³ производимого пенобетона. Это необходимо по двум причинам. Во-первых, для большего количества продукции, получаемой из одной загрузки пеногенератора, а во-вторых, для меньшего влияния на процесс твердения пенобетона. Как известно, при большом количестве пенообразователя, использованного для приготовления пенобетона, может увеличиваться время затвердевания пенобетона, понижаться его прочность и увеличиваться усадка.

– простота приготовления

Пенообразователь не должен быть многокомпонентным. Увеличение количества составляющих усложняет процесс приготовления рабочего раствора пенообразователя и снижает точность дозирования составляющих. Однокомпонентные пенообразователи имеют преимущества, особенно при использовании в строительных условиях. А во избежание засорения трубопроводов и накопления осадка в рабочих емкостях необходимо, чтобы пенообразователь был хорошо растворим в воде.

– высокая кратность и стойкость

Кратность пенообразователя и стойкость пены – это основные физические свойства технической пены, характеризующие качество пенообразователя. Они зависят от вида пенообразователя, устройства приготовления пены, которые в значительной мере влияют на физико-механические свойства поризованного бетона. Кратность пенообразователя должна быть не менее 10. Это необходимо для уменьшения отрицательного действия пенообразователей на гидратацию вяжущего. Кратность пенообразователя определяется по простой формуле: надо объем полученной пены разделить на объем исходного пенообразователя. Зачастую пенообразователи поставляются в концентрированном виде и требуют разбавления водой. Тогда кратность определяется делением объема полученной пены на объем исходного водного раствора. На прочность пенобетона оказывает влияние количество вводимой в поризуемую смесь воды с пеной, которая приводит к дополнительному образованию капиллярных пор. Уменьше-

ние В/Т (водотвердое соотношение) в поризуемом растворе изменяет значение С (коэффициент стойкости пены, о котором чуть ниже), что приводит к увеличению плотности получаемого пенобетона. Поэтому в технологии пенобетона некоторые производственники используют относительно высокое значение В/Т. За счет такого технологического приема, увеличивая значение С, представляется возможным получить пенобетон меньшей плотности, уменьшая отрицательное воздействие пенообразователя на гидратацию вяжущего. Использование пен высокой кратности («сухих пен») приводит к перераспределению воды из твердеющего раствора в межпленочные слои пузырьков пены. Такой эффект наблюдается при использовании определенных видов пенообразователей и пен повышенной вязкости.

– соответствие санитарно-гигиеническим нормам

Пенообразователи не должны быть токсичны, взрывоопасны, относиться к 3–4 классу малоопасных веществ согласно классификации ГОСТ 12.1.007-76, отвечать санитарно- и радиационно-гигиеническим требованиям. Биоразлагаемость разрабатываемых ПО должна удовлетворять требованиям, предъявляемых при использовании ПАВ в производстве строительных материалов.

– достаточная стойкость пены в растворе

Это один из важнейших показателей качества технической пены. Данный технологический параметр характеризуется коэффициентом стойкости пены в цементном тесте при лабораторных исследованиях, а в производственных условиях – коэффициентом использования пены. Значение этих коэффициентов отображает не только совместимость технической пены со средой твердеющего раствора, но и показывает объемную долю использования пены в приготовлении поризованного раствора. В лабораторных исследованиях определение коэффициента стойкости пены производится вручную – при смешивании в течение 1 минуты в равных объемах 1 л цементного теста ($V/C = 0,4$) и пены, с последующим измерением полученного объема поризованного теста. Коэффициент стойкости пены в цементном тесте рассчитывают как результат среднего арифметического трех замеров. Проще говоря, берем по 1 литру пены и цемента, в течение 1 минуты перемешиваем, а после этого измеряем объем полученной пеномассы. Делим на 2 и получаем некое число – назовем его С.

Техническую пену можно считать удовлетворительной, если значение С находится в пределах 0,8–0,85, а качественной – 0,95. Например, на основе пенообразователя Ареком можно приготовить пену с $C = 0,96$. Этот показатель стойкости пены связан с плотностью и прочностью получаемого пенобетона. Чем выше коэффициент стойкости пены, тем меньший ее объем необходим для получения пенобетона требуемой плотности и, соответственно, меньший рас-

ход пенообразователя. «Перебор» пенообразователя на начальной стадии замедляет твердение вяжущего, а может и совсем приостановить этот процесс. Количество пенообразователя, перешедшего в жидкую систему твердеющего вяжущего, зависит от C , и его можно определить через C . Поэтому необходимо использовать пены более высокой кратности, уменьшая объем пенообразователя, вводимого в бетонную смесь, но сохраняя при этом высокое значение C . Эти технологические параметры пены находятся во взаимосвязи и в противоречии, так что для каждого состава пенообразователя и технической пены необходимо определять приоритетное их влияние на технологические и физико-механические свойства пенобетона.

– стойкость смеси во времени

Стойкость поризованной смеси во времени характеризуется ее осадкой. Можно предположить, что влияние на процесс осаждения оказывает изменение рН среды твердеющего бетона и перераспределение ПАВ в дисперсной системе. При недостаточной структурной прочности межпоровых перегородок (результат действия ПАВ) происходит их прорыв и слияние. Такие изменения поризованной смеси во времени измеряют высотой осадки поризованной смеси. Чем меньше осадка, тем качественней пенообразователь и приготовленная техническая пена.

Основные критерии оценки свойств пенообразователей: концентрация пенообразователя при приготовлении стойкой пены, кратность и коэффициент ее стойкости в вяжущем растворе. Эти показатели необходимо использовать для первоначальной оценки качества пенообразователя.

(Информация приводится по материалам сайта www.ibeton.ru)

1.6.2 Производители пенообразователей для пенобетона

См. Приложение 1

(информация приводится по материалам сайта www.ibeton.ru).

1.7 Газообразователи в технологии автоклавных и неавтоклавных ячеистых бетонов

При производстве газобетонных изделий стремятся отрегулировать технологический процесс так, чтобы после вспучивания ячеистой смеси получался газобетон заданного объемного веса. Однако опыт работы многих заводов ячеистого бетона показывает, что газобетон с постоянными и стабильными свойствами практически не удастся получить.

Наименование завода	Объемный вес в среднем, за год в кг/м ³	Прочность в среднем, за год в кг/см ²	Коэффициент изменчивости параметров в %		Диапазон вариаций параметров в абсолютных величинах(±)		Некондиционная продукция	
			по объемному весу	по прочности	по объемному весу, в кг/м ³	по прочности, в кг/см ²	Некондция по объемному весу (>750 кг/м ³)	Некондция по прочности (<42 кг/см ²)
Автовский	655	54	6,5	24,4	130	39	15	14
Ижевский	690	61	6,5	22,6	135	41	9	10
Пензенский	775	59	4,6	19,2	110	34	76	7
Набережные Челны	705	50	7,5	17,0	160	25	19	17
Барнаульский	725	47	7,6	15,8	165	22	32	25
Новосибирский	660	54	7,2	10,8	140	16	3	2
Луганский	680	54	5,5	14,7	110	25	2	3
Ступинский	770	58	7,6	23,5	175	41	30	12
Сводные данные	708	55	6,6	18,5	140	30	—	—

Таблица 1.7-1 Характеристика качеств газобетона плотностью 700 кг/м³ по некоторым заводам ячеистого бетона (мониторинг за 1966 г.)

В таблице 1.7-1 приведены характеристики качества ячеистого бетона, который выпускали некоторые наиболее мощные заводы СССР в 1966 г.

Полученные экспериментальные данные были обработаны по правилам математической статистики и показали, что изменчивость характеристик газобетона очень велика, а отклонения от средних значений по плотности и прочности выходят далеко за границы поля допусков.

Так, для самой массовой по объемам выпуска плотности в 700 кг/м³ средних разброс параметров составляет: по объемному весу – 6,6%, а по прочности – 18,5%. Эти цифры можно было бы отнести на типичный разброс параметров любого бетонного производства (±15%), но такая «средняя температура по больнице» абсолютно не устраивает потребителей, поскольку в абсолютном исчислении вариации параметров по объемному весу и прочности составляют значительные величины.

И если тот же завод в Набережных Челнах выпускал в 1966 г. ячеистый бетон средней плотности 705 кг/м³, то его отдельные партии могли отличаться от базового параметра на целых 160 кг/м³ в ту или иную сторону. Иными словами,

сегодня могли отгрузить продукцию плотностью 860 кг/м³, а завтра – 540 кг/м³, хотя и в том, и в другом случае будет указана «стандартная плотность» – 700 кг/м³. Аналогичная картина и по прочности. Многие заводы не укладывались в нормируемые параметры (читай, выпускали некондицию). К примеру, 76% продукции Пензенского завода – это однозначный брак по плотности, а 25% выпускаемого бетона Барнаульского завода – брак по прочности. По другим, более мелким заводам результаты еще хуже. А общий вывод – большая доля готовой продукции заводов ячеистого бетона в 1966 г. не отвечала требованиям ГОСТ.

За 40 прошедших лет ситуация изменилась, но скорее в худшую сторону. Исключение составляет только ряд наиболее современных заводов, на которых четко и неукоснительно соблюдают технологическую дисциплину.

В последние годы некоторые заводы начали осваивать производство армированных изделий из газобетона пониженного объемного веса (плотностью 500–600 кг/м³).

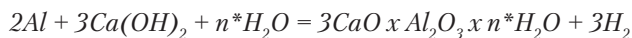
Однако следует учитывать возможность сильного увеличения брака из-за неоднородной плотности и прочности газобетона. Анализ, приведенный выше, показывает, что причин для этого множество, но основная связана с использованием алюминиевой пудры в качестве газообразователя, применяемого в технологии ячеистых бетонов. Поэтому вопросам эффективного применения такого газообразователя, как алюминиевая пудра, следует уделять серьезное внимание.

1.7.1 Химико-физические основы формирования ячеистой структуры алюминиевой пудрой

Как известно, алюминиевая пудра – наиболее активный компонент, весьма чувствительный ко всяким изменениям условий формования и вспучивания газобетонной смеси. Установлено, что скорость и полнота реакции алюминиевой пудры не постоянны и зависят от температуры и концентрации щелочного раствора, т.е. от pH среды. Взаимодействие алюминиевой пудры со щелочами можно описать следующими формулами:



и



Следует обязательно учитывать, что в реакции участвует не вся масса пудры, а только ее активная часть.

Кроме этого, образующиеся от комков пудры ячейки больших размеров имеют далекую от идеальной сферы форму и тенденцию соединяться между собой при вспучивании массива с последующим их выходом из массива сырца (так называемое «хлопанье»), что приводит, с одной стороны, к прямым потерям алюминиевой пудры, с другой – привносит нестабильность в технологический регламент. Поэтому для получения высококачественных изделий из ячеистого бетона ведущие зарубежные фирмы «Итонг», «Хебель» и «Сипорекс» предъявляют чрезвычайно жесткие требования к качеству исходных сырьевых материалов и в первую очередь к алюминиевой пудре. Так, удельная поверхность алюминиевой пудры по Блейну должна быть в пределах $20\,000\text{ см}^2/\text{г}$ и содержание активного алюминия до 95 %.

Российская же алюминиевая пудра, согласно ГОСТ 5494-95, имеет кроющую способность от $6000\text{ см}^2/\text{г}$ (марка ПАГ-1) до $10\,000\text{ см}^2/\text{г}$ (у пудры ПАП-2 и ПАГ-3). Содержание активного алюминия у самых распространенных марок ПАП-1 и ПАП-2 вообще в стандарте не регламентируется и фактически составляет от 65 до 95 % в пудре одной партии.

Использование алюминиевой пудры с низкой кроющей способностью отрицательно сказывается на качестве газобетонных изделий. Значительная часть пудры агрегатирована в комки 100–500 микрон. В процессе приготовления алюминиевой водной суспензии на существующем заводском оборудовании агрегатные скопления пудры не диспергируются даже при многократном прохождении суспензии через высокоскоростную крыльчатку центробежного насоса. Использование такой пудры не позволяет получить ячеистый бетон с однородной структурой.

В результате непостоянства массы активного алюминия и условий, в которых происходит газовыделение (температура и щелочность среды, гомогенность распределения частичек пудры, реологические характеристики вспучиваемой массы, кинетика теплообмена с окружающей средой и т.д.), объем выделяющегося газа также не будет постоянным. Кроме того, выделившийся газ не полностью задерживается в газобетонной смеси, часть его уходит в атмосферу.

В свою очередь, газодерживающая способность ячеистой смеси зависит от ее реологических свойств, т.е. начальной вязкости и скорости нарастания структурной прочности ячеистой смеси.

Для изучения пределов колебания объемного веса газобетона за счет изменения технологических факторов, влияющих на полноту реакции алюминиевой пудры, был проведен ряд исследований, результаты которых вполне справедливо можно отнести ко всем разновидностям газобетонов, как на известково-кремнеземистом вяжущем (газосиликаты), так и на гидравлическом цементном вяжущем (газобетоны).

1.7.1.1 Фактор однородности алюминиевой пудры

Качество алюминиевой пудры определяется содержанием в ней активного алюминия. Однородность пудры по содержанию в ней активного алюминия изучали на пробах, взятых из одной партии, полученной с Волгоградского алюминиевого завода. Однородность пудры оценивали по количеству газа, выделившегося в 5%-ном растворе едкого натра. Величина навески пудры и температура раствора были постоянны. Исследования проводились на приборе и по методике описанным ниже.

Согласно проведенных исследований, в испытываемых образцах алюминиевой пудры марки ПАК-3 содержание активного алюминия в пробах колебалось в пределах 79–94 %.

Статистическая обработка результатов позволила установить, что среднеарифметическое значение содержания активного алюминия в исследованных пробах пудры составило 85 %.

Содержание активного реакционноспособного алюминия имеет отклонение от среднего значения на величину порядка $\pm 10\%$, что при производстве ячеистого бетона расчетного объемного веса в 700 кг/м^3 способно вызвать изменчивость реально получаемого объемного веса серийной продукции в пределах $\pm 35\%$.

Анализ результатов методами математической статистики показал, что среднеквадратичное отклонение количества активного алюминия в пудре в пределах 3,5% обуславливает изменчивость среднеквадратичных отклонений ячеистого бетона уже на целых 5%; налицо масштабируемое и прямо пропорциональное влияние одного, на первый взгляд, несущественного и, как правило, не учитываемого заводскими технологами параметра на глобальные колебания характеристик качества готовой продукции.

И эти колебания весьма значительны. Для их уменьшения, а следовательно, повышения однородности газобетона настоятельно рекомендуется усреднять содержание алюминиевой пудры путем, например, приготовления водно-алюминиевой суспензии в количестве, достаточном для работы одной-двух смен, или же проверять качество пудры в каждой банке и вносить соответствующие коррективы при ее дозировке с учетом фактического содержания активного алюминия. Следует признать, что первый способ наиболее рациональный, он используется на большинстве заводов.

1.7.1.2 Фактор температуры

Известно, что 1 грамм алюминия, полностью прореагировав со щелочью, способен выделить 1,24 л водорода (при $t=0^\circ\text{C}$). Так как при нагревании газ расширяется, при $t=+40^\circ\text{C}$ его объем составит уже 1,4 л.

Расширение газа при нагревании происходит по закону Клапейрона:

$$V_1 = V_2 \cdot ((273 + t_1) / (273 + t_2)),$$

где

V_1 и V_2 – объемы газа при температуре t_1 и t_2 соответственно.

Это явление имеет огромное практическое значение, и пренебрежение им способно привести к крайней нестабильности производственного процесса в целом.

При производстве крупноразмерных изделий из ячеистого бетона на основе молотой негашеной извести температура газосиликатной массы в центре изделия может достигать $+80^\circ\text{C}$ и более, в то время как на периферии, у стенок, за счет теплоотдачи в формоснастку и окружающую среду, вдвое меньше – около $+40^\circ\text{C}$.

Если принять условие, что полнота реакции алюминиевой пудры во всех точках одинакова, то только за счет разницы в температуре ячеистой смеси объемом пузырьков газа и их диаметр, согласно закона Клайперона, будут отличаться на величину:

$$V_1 / V_2 = (273 + t_1) / (273 + t_2) = (273 + 80) / (273 + 40) = 353 / 313 = 1{,}13 \text{ раза.}$$

В результате плотность ячеистого бетона по объему изделия будет колебаться примерно на 7%. В центре изделия температура ячеистой смеси всегда выше, чем на периферии, поэтому и газовые ячейки всегда крупнее, а объемный вес смеси ниже, чем в местах с более низкой температурой.

В целях экспериментальной проверки распределения температуры по объему массива газосиликатной массы, залитой в металлическую форму прямоугольного сечения, был проведен мониторинг изменения температуры, результаты которого отражает *таблица 1.7.1.2-1*.

Кроме того, разница в температуре сказывается на полноте реакции газовой выделения. Исследования показали, что с повышением температуры заметно увеличиваются скорость и полнота реакции. Так, для цементно-песчаного раствора справедливы следующие параметры газовой выделения в зависимости от времени и температуры (см. *таблицу 1.7.1.2-2*).

Полученные результаты дают основания для практических выводов о том, что при формировании изделий из газобетонов и газосиликатов необходимо строжайшим образом контролировать соблюдение заданных параметров – температуры воды, сырьевых ингредиентов, шлама, а также количества воды (В/Т), температуры формоснастки и температуры в цеху.

Для устранения вредного влияния приведенных выше факторов на стабильность газообразования и, соответственно, на параметры выпускаемой продукции, целесообразно формировать максимально возможно крупные массивы, стремиться к ускорению вспучивания ячеистой смеси, чтобы она не успела остыть в углах и у бортов. Для этой цели следует использовать ускорители газо-

Время с начала заливки в минутах	Температура в градусах в различных точках						
	на поверхности массива		в середине массива				на дне массива
	в центре	в углу	в центре	в углу	у «длин- ной» стенки	у «ко- роткой» стенки	в центре
0	52	52	52	52	52	52	52
10	52	40	62	50	54	60	—
15	42	42	64	50	54	61	—
20	49	44	70	52	66	58	50
25	55	44	76	52	66	58	51
35	58	44	80	52	70	58	60
45	51	44	80	54	72	60	65
55	60	43	80	54	70	70	70
65	60	42	82	54	70	58	70
80	58	41	80	54	68	58	70

Примечание:

1. Размеры металлической формы: ширина 1200 мм, длина 1800 мм, высота 600 мм;
2. Температура «на поверхности массива» измерялась не на самой поверхности, а под слоем срезаемой впоследствии «горбушки» (примерно 50–100 мм);
3. Следует также обязательно учитывать, что в случае повторных экспериментов на местах с целью мониторинга температуры массива, необходимо использовать малогабаритные температурные датчики, чтобы теплопроводность корпуса не вносила искажений. Поэтому обычные промышленные термодатчики (и тем более жидкостные термометры) непригодны в принципе. В настоящий момент гораздо удобнее пользоваться миниатюрными термодатчиками (каждый стоит порядка \$ 1). Нехитрые манипуляции с паяльником и набором переключателей позволят скоммутировать несколько датчиков на единый выход, который, в свою очередь, подключен к электронному комбинированному ампервольтметру с функцией измерения температуры (стоит от \$ 6).

Таблица 1.7.1.2-1. Распределение температуры по объему изделия из газосиликата

Температура раствора	Относительный объем в % в зависимости от времени с начала реакции (с момента затворения) в минутах												
	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48
t = +40 градусов	0	15	23	25	27	29	31	33	35	—	—	—	—
t = +45 градусов	0	20	27	32	38	43	47	51	55	—	—	—	—
t = +50 градусов	0	20	31	42	48	53	56	58	63	—	—	—	—

Примечание:

Цемент Белгородского завода, В/Т=0.5

Таблица 1.7.1.2-2. Влияние температуры цементно-песчаной смеси на скорость и величину газовыделения алюминиевой пудры

Температура раствора	Относительный объем в % в зависимости от времени с начала реакции (с момента затворения) в минутах												
	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48
t = +12 градусов	0	4	12	18	32	45	56	61	63	64	66	68	70
t = +20 градусов	0	35	71	76	80	82	83	84	—	—	—	—	—
t = +43 градуса	0	70	78	83	85	85	85	—	—	—	—	—	—
t = +53 градуса	0	73	83	86	86	86	—	—	—	—	—	—	—

Примечание:

Цемент Белгородского завода, В/Т = 0,5, в качестве щелочи был применен едкий натр (NaOH) в концентрации 5% от массы воды затворения.

Таблица 1.7.1.2-3. Влияние температуры цементно-песчаной смеси с добавкой щелочи на скорость и величину газовыделения алюминиевой пудры

образования, что особенно важно для таких составов ячеистой смеси, в которых газовыделение происходит недостаточно быстро.

Например, при абсолютно одинаковых параметрах (тот же цемент, практически та же температура) добавка в сырьевой шлам всего 5% едкого натра позволила более чем в 2 раза поднять интенсивность и полноту газовыделения. И если в первом случае (без добавки щелочи – *таблица 1.7.1.2-2*) за первые 12 минут при исходной температуре 45 градусов произошло выделение только 32% газа от теоретически достижимого объема, то во втором случае (с добавкой щелочи – *таблица 1.7.1.2-3*) за то же время и при температуре 43 градуса газовыделение составило уже 83% – в 2,6 раза больше.

1.7.1.3 Фактор pH раствора

Эксперименты позволили также установить, что скорость реакции алюминиевой пудры в водном растворе NaOH значительно выше, чем в растворе $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Увеличивается и полнота реакции. Вероятно, здесь играет роль концентрация ионов OH (см. *таблицу 1.7.1.3-1*).

Отсюда следует практический вывод: для ускорения реакции газообразования алюминиевой пудры в ячеистом бетоне нужно применять щелочные химические вещества, обладающие высокой растворимостью в воде (едкий натр, кальцинированная сода, поташ и др.).

1.7.1.4 Фактор, обусловленный минералогией цемента

Опыты показали, что алюминиевая пудра ведет себя неодинаково в газобетонных смесях, приготовленных на портландцементе разных заводов, при соблюдении постоянства всех прочих равных условий. Объяснение следует искать только в различии минералогического состава цемента различных производителей, а также в количестве свободных щелочей в их составе.

Концентрация щелочного раствора	Относительный объем в % в зависимости от времени с начала реакции (с момента затворения) в минутах													
	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	
170 гр СаО на 1 литр воды – для сравнения	0	12	30	40	46	52	55	57	59	61	63	–	–	
Концентрация 0,5% NaOH	0	30	70	78	80	81	82	–	–	–	–	–	–	
Концентрация 1,0% NaOH	0	65	82	83	84	84	–	–	–	–	–	–	–	
Концентрация 2,5% NaOH	0	85	86	87	87	–	–	–	–	–	–	–	–	
Концентрация 5,0% NaOH	0	87	89	90	–	–	–	–	–	–	–	–	–	

Примечание:

Концентрация NaOH – относительно массы воды

Таблица 1.7.1.3-1. Влияние концентрации щелочного раствора NaOH на скорость и величину газовыделения при $t = +20-25^{\circ}\text{C}$, и атмосферном давлении $P = 760$ мм ртутного столба

Развернутые экспериментальные исследования данного фактора были проведены на рядовых цементах нескольких заводов. Кроме того, была искусственно смоделирована минералогическая база нескольких типовых цементов (Искусственный Тип 1, 2, 3, 4) без гидравлических добавок, для которых также проведены исследования (см. *таблицу 1.7.1.4-1*).

Характер газовыделения при использовании цементов различных производителей (см. *таблицу 1.7.1.4-2*) убедительно свидетельствует, что слепое копирование технологического регламента без учета характеристик местной сырьевой базы способно породить массу, на первый взгляд, необъяснимых проблем.

На заводах ячеистых бетонов часто используют известь в качестве добавки, ускоряющей вспучивание. На опытах была проверена эффективность этой добавки в количества 5% и 10% от массы цемента. Результаты опытов оказались весьма неожиданными. При добавке извести в цементы Здолбуновского и Белгородского заводов скорость реакции и газовыделения увеличились, что же касается цементов Ново-Пашийского и Воскресенского заводов, то здесь газовыделение, как это ни странно, замедлилось (см. *таблицу 1.7.1.4-3*).

Опыты повторились неоднократно, и каждый раз результаты были такими же. Это указывает на то, что не всегда следует применять известь в качестве добавки к цементу для ускорения вспучивания газобетонной смеси.

Например, Березниковский завод ячеистого бетона, работающий на цементе Ново-Пашийского завода, применяет в качестве добавки кальцинированную соду, а не известь.

Причину различного поведения алюминиевой пудры в газобетонных смесях следует искать в минералогических особенностях цементов. Вероятно, этим же объясняется и эффект добавки извести к газобетонной смеси.

Цемент	Химический состав в %										Минералогический состав в %				Марка
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	Na ₂ O	примеси	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	
Здобуновский	19,74	5,50	4,70	–	63,10	1,75	3,40	0,10	0,17	2,20	54–60	19–23	5–9	12–16	600
Белгородский	20,60	5,43	4,47	–	63,65	1,95	2,27	0,12	0,15	1,73	61–70	9–17	2–5	13–16	500
Воскресенский	25,20	5,76	4,34	–	56,05	2,80	2,48	0,11	0,50	3,02	55–62	10–16	7–9	13–14	600
Ново-Пашийский	21,99	5,68	2,90	0,65	63,50	0,70	1,62	0,33	0,27	0,85	42	32	11	12	500
Искусственный «Тип 1»	20,72	5,23	6,07	–	64,05	1,98	0,38	–	–	0,56	58,89	13,69	3,60	18,45	–
Искусственный «Тип 2»	25,30	5,08	6,32	–	60,84	1,57	–	–	–	0,38	16,93	57,80	2,72	19,21	–
Искусственный «Тип 3»	23,20	5,36	4,84	–	63,80	1,50	–	–	–	0,63	40,73	33,87	6,00	14,71	–
Искусственный «Тип 4»	22,10	7,56	1,30	–	61,26	1,40	–	–	–	0,28	40,30	31,20	12,70	13,07	–

Примечание:

Цементы Искусственный «Тип 1», «Тип 2», «Тип 3» и «Тип 4» отражают минералогический состав бездобавочных чистоклинкерных цементов (Тип Д0), характерных для производства именно пенобетонов и газобетонов.

Таблица 1.7.1.4-1 Химический и минералогический составы цементов

Завод–производитель цемента	Относительный объем в % в зависимости от времени с начала реакции (с момента затворения) в минутах												
	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48
Ново-Пашийский завод	0	48	61	68	68	68	–	–	–	–	–	–	–
Воскресенский завод	0	41	52	57	62	65	67	68	–	–	–	–	–
Белгородский завод	0	21	33	43	49	53	57	59	62	63	64	–	–
Здолбуновский завод	0	18	30	42	45	51	54	56	–	–	–	–	–

Примечание:

Температура $t = +40^{\circ}\text{C}$

Таблица 1.7.1.4-2. Характер газовыделения при использовании цемента разных заводов

Завод– производитель цемента	Величина добавки извести, %	Относительный объем в % в зависимости от времени с начала реакции (с момента затворения) в минутах												
		0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48
Белгородский завод	0	0	17	32	43	50	55	57	60	62	–	–	–	–
	5	0	22	40	55	63	67	69	72	74	–	–	–	–
	10	0	24	43	61	68	73	74	76	78	–	–	–	–
Ново-Пашийский завод	0	0	39	54	61	65	67	–	–	–	–	–	–	–
	5	0	20	38	49	61	63	66	68	70	–	–	–	–
	10	0	6	15	22	30	36	42	48	–	–	–	–	–

Примечание:

Температура $t = +40^{\circ}\text{C}$

Таблица 1.7.1.4-3. Влияние добавки извести к газобетонной смеси на скорость газовыделения

Кроме указанных, были проверены искусственные чистоклинкерные цементы без гидравлических добавок (в *таблице 1.7.1.4-4* они обозначены как «Искусственный» Тип-1, -2, -3, 4). Для всех этих искусственных цементов, прогнозирующих поведение чистоклинкерных цементов (Д0) добавка извести оказалась весьма полезной (смотри *таблицу 1.7.1.4-4*) и сгладила разницу в их минералогическом составе.

Вариант «искусственного» цемента	Величина добавки известки, %	Относительный объем в % в зависимости от времени с начала реакции (с момента затворения) в минутах													
		0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	
Тип 1	0	0	6	12	17	21	25	28	32	35	38	40	–	–	
	10	0	15	38	37	54	57	58	59	60	–	–	–	–	
Тип 2	0	0	15	20	26	32	37	41	44	48	52	54	–	–	
	10	0	15	39	51	57	61	63	64	65	–	–	–	–	
Тип 3	0	0	15	28	36	45	49	53	58	59	61	63	–	–	
	10	0	23	42	51	58	63	65	67	68	–	–	–	–	
Тип 4	0	0	17	21	28	33	38	43	47	51	55	59	–	–	
	10	0	15	41	50	55	59	61	63	64	–	–	–	–	

Примечание:

– Температура $t = + 40^{\circ}\text{C}$

– Нумерация «искусственных» цемента в соответствии с таблицей 1.7.1.4-1

Таблица 1.7.1.4-4. Характер газовыделения в газобетонных смесях, приготовленных на цементах искусственной минералогии

1.7.2 Общие выводы и рекомендации

На основании проведенных исследований возможно рекомендовать следующее:

1. Алюминиевая пудра – активный компонент газобетона, оказывающий сильное влияние на его качество, поэтому необходимо обращать на нее самое пристальное внимание, организуя входной лабораторный мониторинг основных параметров (и в первую очередь количества выделяемого водорода). Кроме того, следует использовать только качественную продукцию, пусть она даже и дороже – незначительные колебания характеристик пудры способны очень сильно отразиться на параметрах газобетона.

2. Для повышения однородности газобетона рекомендуется строго выдерживать в течение смены заданную температуру воды и шлама, продолжительность перемешивания пудры с раствором, водо-твердое отношение (В/Т). Рекомендуется также применять цемент только одного завода и одной марки.

3. Для ускорения вспучивания ячеистой смеси и стабилизации процесса рекомендуется применять добавки, повышающие pH среды (NaOH, KOH, соду, поташ). Количество добавки не должно превышать 0,5–2,5 % от веса воды.

ГЛАВА 2

ВЗАИМОСВЯЗЬ МАКРОСТРУКТУРЫ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ С ИХ ПРОЧНОСТЬЮ

Беспристрастный анализ современных публикаций, освещающих связь макроструктуры ячеистых бетонов с их прочностью, породил у меня определенные сомнения. Освещая одно и то же явление, ссылаясь на одни и те же первоисточники, современные авторы порой трактуют их взаимоисключающим образом.

Возникло жгучее желание определиться с этими самыми первоисточниками и ознакомиться с «голыми» результатами исследований еще не отягощенными грузом многолетних цитирований и пересказов последователями...

2.1 Зависимость прочности ячеистых бетонов от их объемного веса

Исследования зависимости прочности ячеистых бетонов от их объемного веса показали, что эта зависимость не линейна. На основании многочисленных экспериментальных данных установлено, что в интервале плотностей от 300 кг/м³ до 1200 кг/м³ графически ее можно отобразить в форме сложной параболической кривой (см. *рис.2.1-1*). На этой кривой можно выделить 4 фрагмента, ограниченных следующими показателями плотности: 300–650, 650–740, 740–1200, 1200–1800 кг/см³.

Впервые теоретическое обоснование связи между макроструктурой ячеистых бетонов (а следовательно, и пористостью) и их прочностью было дано Логиновым Г. И. и Филиным А. П. На основании строгих математических моделей, характеризующих заполняемость единицы объема шарообразными телами исследователи вывели столь же строгие закономерности, описывающие идеальную структуру ячеистого бетона.

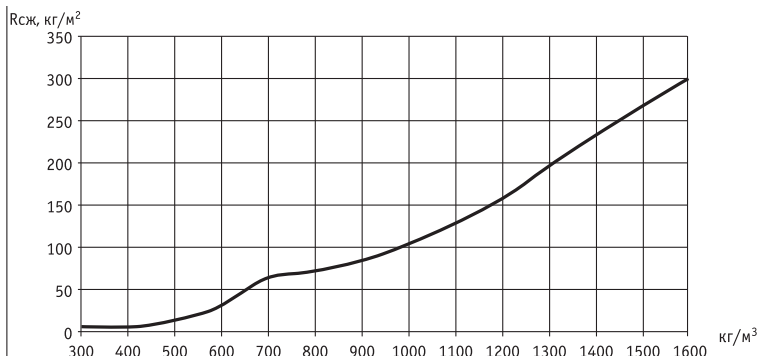


Рис. 2.1-1 Зависимость прочности ячеистых бетонов от их объемного веса

Известно, что наиболее плотной упаковкой шарообразных тел одинакового диаметра (в нашем случае это пузырьки пены) является их гексагональная укладка. При такой укладке в бетоне строго сферические поры одинакового диаметра создадут объемную пористость, равную 74,05 %. Таким образом, минимально достижимый объемный вес ячеистого бетона с порами одинакового диаметра зависит исключительно от плотности сырьевых компонентов, примененных для его производства. Для ячеистого бетона (при плотности 2730 кг/м^3) она составит $700\text{--}720 \text{ кг/м}^3$, для ячеистого силиката (при плотности 2690 кг/м^3) — $690\text{--}710 \text{ кг/м}^3$, для ячеистого шлакозолобетона (при плотности 2760 кг/м^3) — $710\text{--}720 \text{ кг/м}^3$ и т.д.

Безусловно, гексагональная упаковка является теоретически предельной упаковкой пор. В действительности, в силу случайного характера расположения пор их упаковка может лишь приближаться к гексагональной, но никак не достигать ее. Поэтому лишь в ячеистых бетонах объемным весом свыше 700 кг/м^3 желательно иметь большинство пор одинакового размера. Для более легких видов ячеистого бетона, как показывают теоретические исследования, наиболее оптимально некое смешанное сочетание пор разного диаметра.

(Это «некое смешанное сочетание» также имеет строгое математическое обоснование и столь же строгое наименование — модальность. Под модальностью непрерывного распределения пор по радиусам их сечений называют значение, при котором эмпирическая плотность вероятности ($\Delta n/n\Delta r$) достигает максимума. Иными словами, наиболее оптимально, когда размеры пузырьков пены разнятся друг от друга примерно в полтора раза, а точнее, в 1,63 раза).

Если же стремиться к получению в ячеистых бетонах с объемной пористостью выше 74 % (плотность меньше 650 кг/м^3) одинаковых по размеру сферических пор, то при этом получатся такие нежелательные для макроструктуры

явления, как увеличение числа пор, сообщающихся между собой, их объединение, резкое отклонение от сферичности и т.д. Совершенно естественно ожидать, что зависимость технических свойств ячеистых бетонов от объемного веса должна резко меняться при значениях объемного веса, равных приблизительно 650–700 кг/м³.

Исходя из вышесказанного, необходимо разрабатывать такую технологию производства пористых строительных материалов, в частности, ячеистых бетонов, которая позволяла бы получать конструктивные изделия (воздушная пористость менее 74 %) с равномерно распределенными порами одинакового размера и максимально приближающимися к сферической форме. А теплоизоляционные изделия (воздушная пористость 75–95 %) – с двумодальным распределением по размерам воздушных округлых пор, при котором мелкие сферические поры будут расположены между более крупными.

2.2 Увеличение прочности ячеистых бетонов в результате улучшения организации их порового пространства

Учеными разных стран давно и интенсивно ведутся поиски новых технологических приемов, позволяющих оптимизировать макроструктуру ячеистых бетонов и в конечном счете повысить их технические и эксплуатационные свойства. Однако, используя один и тот же технологический прием для улучшения свойств и конструктивного, и теплоизоляционного ячеистых бетонов, не удастся получить ожидаемого эффекта для всех значений объемного веса. Разработанная в НИИЖБе технология получения газобетонов, основанная на применении смесей с повышенной дозировкой воды, позволяет изготавливать изделия с лучшими физико-техническими свойствами в интервале 600–700 кг/м³. Данная технология обеспечивает получение пористой структуры с двумодальным распределением пор по размерам независимо от объемного веса: первый максимум приходится на капиллярные поры в стенках газовых пор, второй – на поры, возникающие в процессе пенно- или газообразования. При значениях пористости свыше 74–75 % и особенно в интервале 74–80 % именно такая модальность распределения пор заметно повышает физико-технические свойства изделий.

Как показали работы, проводившиеся рядом исследователей, для получения конструктивных ячеистых бетонов объемным весом свыше 700 кг/м³, очень эффективной и многообещающей является технология, основанная на совмещении процесса газовыделения с вибрированием смесей, характеризующаяся пониженным водо-твердым отношением, – метод вибровспучивания. Суть его состоит в том, что при вибрировании смеси все ее составляющие находятся в

непрерывном движении, поэтому образующиеся на поверхности алюминиевой пудры газовые пузырьки отрываются и равномерно распределяются во всем объеме массы. Кроме того, при применении метода вибровспучивания процесс газовыделения происходит весьма интенсивно, а пластично-вязкие свойства поризующегося раствора за счет вибрации поддерживаются постоянными. Это приводит к тому, что с поверхности алюминиевой пудры, как бы ни колебалась ее гранулометрия, в массу отделяются пузырьки строго одинакового размера.

Применение метода вибровспучивания позволяет получить ячеистую массу с равномерно распределенными порами практически одинакового диаметра. Важно и то, что пониженное на 20–25 % количество воды затворения в сочетании с уплотняющим воздействием вибрации в момент структурообразования способствует образованию плотных стенок одинаковой толщины, которые примерно на 30 % прочнее аналогичных, полученных без внешнего вибровоздействия.

Для производства изделий с пористостью свыше 75 % и особенно для легких теплоизоляционных бетонов с объемным весом 350 кг/м³ и ниже целесообразно переходить на разработанную в начале 50-х годов в Германии технологию вибровспученных газопенобетонов. Ее суть – комбинированное порообразование при помощи воздухововлекающих и газообразующих добавок.

Технология вибровспученных газопенобетонов основывается на следующем. Путем активного перемешивания в скоростных смесителях либо вибросмесителях осуществляется предварительная гидратация вяжущего и его активация. Для интенсификации процесса добавляется крупная фракция заполнителя – чаще всего песок.

Параллельно в подобном же смесителе смешивается оставшаяся мелкая фракция заполнителя (обычно зола-унос тепловых электростанций) с пено- и газообразователем. Пенообразователем служат *ПАВ*, способные в щелочной среде значительно снижать свою пенообразующую способность (олеат натрия, мылонафт, *SDO-L* и т.д.). Газообразователь традиционный – обыкновенная алюминиевая пудра. В процессе перемешивания поверхностно-активные вещества смывают с алюминиевой пудры консервирующий слой стеарина, тем самым переводя ее из гидрофобной модификации, в гидрофильную. Благодаря этому даже весьма малые количества алюминиевой пудры, в отличие от традиционных способов, легко и равномерно распределяются во всем объеме пульпы. Для того чтобы обеспечить обильное воздухововлечение и не допустить предварительного газообразования, затворение пульпы ведется на умягченной воде. Получаемые воздушные пузырьки стабилизируются ультрадисперсным наполнителем – золой-уносом и субультрадисперсной алюминиевой пудрой. В итоге полученный пенно-пульпо-шлам способен даже без намека на седиментационные процессы (водоотделение) храниться несколько суток.

На третьем этапе дозируют в нужных пропорциях и смешивают активизированный цементный раствор и пено-пульпо-шлам. В процессе этого перемешивания наружная оболочка пузырьков воздуха, состоящая из водорастворимой натриевой или калиевой соли ПАВ и бронирующих ее алюминиевой пудры и золы-уноса, вступает в химическую реакцию с гидроокисью кальция, выделившейся из цемента. В результате обменно-замещающих реакций по кальцию ранее водорастворимое ПАВ превращается в водонерастворимую модификацию, тем самым дополнительно укрепляя стенки воздушных пузырьков. На этом процесс насыщения раствора мелкими порами завершается.

Затем полученный мелкопоризованный раствор быстро разливают в формы и сразу же подвергают вибрации. Химическая реакция между цементом и алюминиевым порошком с выделением водорода, формирующего крупные поры, по обычной технологии достаточно длительна – до 40–50 минут (для интенсификации процесса применяют подогрев, но и это не решает проблему кардинальным образом). В традиционной технологии, для того чтобы дать возможность образующимся газовым пузырькам беспрепятственно всплывать и насыщать весь объем, применяют достаточно жидкие и подвижные смеси. После окончания порообразования они подвержены релаксационным изменениям – попросту садятся. При малейшем отклонении от оптимальных параметров процесса производства (например, похолодало) даже повышенные дозы ускорителей схватывания и твердения порой не способны нормализовать ситуацию должным образом – получается брак.

Под воздействием же вибрации процесс газообразования сокращается до нескольких минут. Кроме того, в присутствии гидрофобных добавок изменяются все показатели, характеризующие пластическую вязкость смеси. Вкупе с вибрацией это способно настолько разжижить смесь, что даже первоначально густые и малоподвижные составы приобретают текучесть – даже большую, чем у воды! И что главное, при снятии вибровоздействия поризованная смесь мгновенно загустевает, причем настолько, что распалубку можно производить сразу же.

2.2.1 Обсуждение в Интернете метода вибровспучивания

Татьяна (---.dialup.vitebsk.by)

В инструкции СН 277 есть ссылка на «Инструкцию по изготовлению изделий из ячеистого автоклавного бетона по комплексной вибрационной технологии». Где ее можно прочесть? Есть ли там описание вибрирования газо-пенобетонной массы или аналогичное?

Или этот механизм совершенно другое?

С уважением, Татьяна

Алексей (213.179.246.---)

Просматривал перечень СН по строительной тематики ничего подобного там не встретил.

Было бы интересно посмотреть эту инструкцию.

Сергей Ружинский (---.itl.net.ua)

Начало применению вибрационных воздействий в технологии ячеистых бетонов было положено исследованиями Горяйнова, Давидсона, Куприянова. В 1957 году было получено первое авторское свидетельство № 109742 по этой теме.

В дальнейшем данное направление было развито последователями, что и нашло отражение в их трудах.

1. Левин С. Н., Меркин А. П. Новая технология изготовления конструкций и деталей из газосиликата. «Промышленность строительных материалов Москвы». № 10, 1961 г.
2. Куннос Г. Я., Лиденберг Б. Я. Вибрационный способ приготовления газобетонной смеси. Рига, 1962 г.
3. Ребиндер П. А. Физико-химическая механика. Серия IV, №№ 39, 40. 1958 г.
4. Михайлов Н. В. Физико-химическая теория бетона и основные положения новой технологии бетона и железобетона. 1958 г.
5. Левин С. Н., Амханицкий Г. Я., Эршлер Э. Я., Меркин А. П. Вопросы технологии производства газосиликата для полносборного домостроения. Сборник трудов НИИ железобетона, выпуск 6, 1961 г.
6. Давидсон М. Г., Горяйнов К. Э., Григорьев Е. Г. Вибрированный газобетон. Бюллетень технической информации Главмосстроя.
7. Десов А. Е. Вибрированный бетон. 1956 г.
8. Хигерович М. И., Пратусевич З. М., Меркин А. П. Изготовление ячеистых бетонов методом вибровспучивания. 1961 г.
9. Левин С. Н., Меркин А. П. Производство изделий из ячеистого силикатного бетона методом вибровспучивания. 1960 г.
10. Хигерович М. И., Логинов Г. И., Меркин А. П., Филин А. И. Вибровспученный газобетон. Изготовление, макроструктура и технические свойства. 1962 г.
11. Хигерович М. И., Меркин А. П. Интенсификация изготовления ячеистых бетонов путем применения вибровспучивания. 1961 г.
12. Хигерович М. И., Меркин А. П., Левин С. Н. Изготовление силикатных газобетонных изделий методом вибровспучивания. «Строительные материалы» № 9, 1961 г.
13. Амханицкий Г. Я., Левин С. Н., Меркин А. П. Вибрационные воздействия в технологии газобетонов и газосиликатов. «Строительные материалы» № 4, 1972 г.

Очень интересен сравнительный анализ ячеистых бетонов, полученных разными способами.

Так, для газосиликата плотности 600 и $B/T=0,47$ по обычной технологии удалось получить прочность на сжатие $R_{сж} = 38 \text{ кг/см}^2$;

то же, но с применением виброперемешивания, $B/T=0,46$, $R_{сж} = 31 \text{ кг/см}^2$;

*то же, но с применением вибровспучивания, $V/T=0,39$, $R_{сж}=49$ кг/см²;
то же, но с применением виброперемешивания+вибровспучивания,
 $V/T=0,38$, $R_{сж}=51$ кг/см².*

Аналогично, для газобетонов плотности 600 и $V/T=0,42$, по обычной технологии достижимо $R_{сж}=39$ кг/см²;

то же, но с применением виброперемешивания, $V/T=0,40$, $R_{сж}=44$ кг/см²;

то же, но с применением вибровспучивания, $V/T=0,35$, $R_{сж}=49$ кг/см²;

*то же, но с применением виброперемешивания+вибровспучивания,
 $V/T=0,33$, $R_{сж}=58$ кг/см².*

Из приведенных данных видно, что вибровспучивание, по сравнению с обычной технологией газобетонов и газосиликатов, позволяет снизить водо-твердое соотношение примерно на 18% (не путать с водо-цементным соотношением!), в то время как предварительное виброперемешивание с последующим традиционным вспучиванием позволяет снизить V/T лишь на 2–7%.

Совместное же применение вибрационных воздействий на стадиях перемешивания и вспучивания позволяет снизить V/T на 22–23% и существенно повысить прочность (до 60%).

В настоящий момент вибрационные технологии в производстве ячеистых бетонов или забыты, или представляют собой ноу-хау отдельных производителей высококачественных ячеистых бетонов.

2.3 Методологическое обеспечение технологии вибровспучивания ячеистых бетонов

В истории науки можно насчитать множество случаев, когда великие изобретения и достижения находили достойную оценку только после многолетнего периода забвения. Не исключением в этом плане стало и бетоноведение.

Мы вновь открываем давно открытое и исследуем уже исследованное. Хотя золотое правило любого исследователя: прежде чем что-либо изобретать, изучи труды предшественников.

Метод вибровспучивания в технологии ячеистых бетонов как раз тот случай, когда замечательная технология не была забыта. По этому методу работали и работают множество заводов, производящих газосиликаты в промышленных объемах.

Но оказывается (как раз это и забыли), что данный метод вполне реализуем и в технологии ячеистых бетонов неавтоклавного твердения. Мало того, он способен кардинально изменить технологический регламент производства пенобетона и газобетона.

В строительной специализированной периодике можно встретить множество упоминаний о методе вибровспучивания. Причем авторы в большинстве своем всегда апеллируют к неким трем первоисточникам – начальным исследованиям, заложившим основу этого метода.

Эти три бесценные брошюры (см. *Приложение 2.1, 2.2, 2.3*), которые «живьем» никто не видел, но на которые все ссылаются, я счел возможным и нужным возродить из забвения в таком новом и своеобразном переиздании. До этого они были размещены в Интернете в режиме свободного доступа на сайте **www.ibeton.ru** в цикле «Наследие». Вполне вероятно, что именно метод вибровспучивания заменит нынешнюю традиционную технологию производства пенобетона, которая остается практически неизменной вот уже почти век.

ГЛАВА 3

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕНОБЕТОНОВ

3.1 Уроки истории

Со времен изобретения цемента, вот уже второй век, технология его изготовления существенно не изменилась. Исходное сырье, глина и известняк, измельчаются, тщательно перемешиваются и обжигаются. Получается клинкер. Для удешевления конечного продукта либо для придания ему специальных свойств в клинкер добавляют различные компоненты, до 80 %, и полученную смесь размалывают в специальных шаровых мельницах. Продукт измельчения и есть портландцемент, или шлакопортландцемент, если добавкой послужил доменный шлак.

Один из самых дорогостоящих процессов – это именно помол клинкера с добавками. Ведь измельчить их нужно очень тонко. Настолько тонко, чтобы удельная поверхность 1 грамма цемента составила не менее 2000 см^2 (этот показатель так и обозначают: например, $2000 \text{ см}^2/\text{г}$). Размеры зерен цемента при этом составляют от 10 до 100 микрон.

Выпускаемые отечественной промышленностью цементы общего назначения («рядовые цементы») редко имеют удельную поверхность, превышающую $3000 \text{ см}^2/\text{г}$. При этом в их составе преобладают зерна размером 40–80 микрон и выше. Самых активных частичек размером менее 20 микрон в них очень мало.

Причин тому несколько, и все они несут объективный характер, но самая главная – экономическая. Чем тоньше требуется смолоть цемент, тем больше потребуются затратить энергии. Причем взаимосвязь увеличения тонны помола с энергозатратами выражается не линейно, а по зависимости, близкой к геометрической. В итоге каждые 20–30 % прироста удельной поверхности цемента требуют удвоения энергозатрат!

Удельные энергозатраты на помол самые большие в производстве цемента. Поэтому вполне понятно стремление цементных комбинатов без лишней на то нужды очень мелко цемент не молоть – незначительное увеличение отпускной цены тонкомолотых (высокомарочных) цемента не компенсирует возросших энергозатрат и, соответственно, себестоимости. Такая ситуация не только у нас, но и во всем мире.

Как быть? Решение первое и самое простое – своевременно изымать из мельницы самые тонкие частички, отвечающие необходимым параметрам, и не тратить энергию на их переизмельчение. А крупные продолжать измельчать дальше. Такой способ называется помолом с сепарацией, все современные заводы в мире работают именно так (большинство отечественных пока только мечтают об этом). Его суть достаточно проста: через мельницу постоянно продувается воздух; он захватывает самые мелкие частички и выносит их в так называемый классификатор; там происходит дополнительное разделение – самые мелкие частички выпадают из потока и отправляются на склад готовой продукции, а более крупные возвращаются назад, в мельницу, где продолжают доталываться дальше.

Однако, как говорится, гладко было на бумаге... Уже полвека большинство отечественных заводов дальше разговоров на эту тему не идут. Тем более что все это время дефицит даже некачественного, низкомарочного цемента являлся непреложным атрибутом социалистического строительства – этакий врожденный порок.

Весьма показательна в этом плане ситуация в украинской цементной промышленности. После десятилетней агонии практически все цементные комбинаты были на корню скуплены иностранными. Новые хозяева первым делом, конечно, разогнали «колхоз» – «Ассоциацию производителей цемента Укрцемент», а затем начали спешно модернизировать производство, где мощности еще не были утрачены окончательно. И в первую очередь переводить помол на закрытый цикл с сепарацией.

Решение второе – не от хорошей жизни. Именно так и вынуждены были поступать многие советские домостроительные комбинаты. Качественный бетон требовал не менее качественного цемента. А где его возьмешь, если в разных концах вагона цемент мог различаться по марочности! Рекламации на цементный комбинат слать – себя не уважать. Нужно брать выше. В итоге повышению качества цемента посвящались целые пленумы, на съездах эту проблему не обходили вниманием, да только все без толку.

Так Партию достали, что та повелела решать проблему на местах.

Эпохальными и очень плодовитыми на теоретические разработки теории бетона стали 50–70 годы. Именно на этот период приходится расцвет методов, технологий и способов, как хорошо строить из плохого цемента. Во всем мире

до сих пор буквально зачитываются исследованиями наших бетоноведов той поры. И не зря. В те времена, с перспективой на будущее, в СССР была создана крупнейшая в мире промышленность сборного железобетона, намного превышающая экономические потребности страны. На каждые 50 тыс. населения, включая младенцев, приходилось по одному крупному заводу ЖБИ.

Были оптимизированы методы расчета и подбора составов бетонов и растворов, массово освоено производство и применение различных модифицирующих добавок к бетонам, создано высокоэффективное оборудование для строительной индустрии, работающее и поныне. Отработаны теоретически и запущены в производство новые виды цемента – быстротвердеющие (*БТЦ*), особобыстротвердеющие (*ОБТЦ*), гидрофобные, гидрофобизированные, пластифицированные, напрягающие, глиноземистые, гипсоцементнопуццолановые и т.д. На вяжущих автоклавного твердения были доведены до массового применения силикатные бетоны и силикальциты.

Хронический дефицит цемента вынуждал искать им достойную замену на местах. Для гражданского строительства пытливый российский ум умудрялся использовать абсолютно все – от нефелиновых шламов до горелой шахтной породы. Родилась целая отрасль строительной индустрии, которая так и называлась: «промышленность местных строительных материалов».

В конце 50-х годов бурно и повсеместно стали внедряться технологии, использующие механохимические превращения в твердом теле – вибромельницы, струйные мельницы, дезинтеграторы, планетарно-центробежные мельницы и т.д. Не обошлось на этом пути и без просчетов, ошибок, заблуждений, перегибов и традиционного российского головотяпства. Передовые даже по нынешним временам технологии, насаждаемые директивно, встречали на местах дилетантскую, низкую профессиональную реализацию. Каждый уважающий себя колхозный раствор-бетонный узел считал необходимостью иметь у себя вибропомольный участок для изготовления высокомарочных цемента. При этом мало кто задумывался об экономической и рациональной стороне подобных новаций. В этой связи вполне справедливо будет утверждение некоторых современных ученых-бетоноведов, отечественных и зарубежных, что советская строительная механохимия опередила время, но на тот момент в ней еще не было действительной потребности.

Читатели рассылки очень часто меня спрашивают, где же сейчас все эти опередившее время технологии, почему о них ничего не слышно?

Если Вы об этом не слышали, то почему решили, что эти технологии в настоящий момент не применяются? Был, есть и продолжает весьма активно работать Институт химии твердого тела и механохимии Российской академии наук. В Москве плодотворно трудится научно-производственная фирма «Центр механохимических технологий». Разработанные ею некоторые строительные технологии,

в частности, производство специальных строительных красок, давно внедрены в серийное производство. А изготовление высококачественных сухих строительных смесей вообще практически немыслимо без механохимических активаторов.

Однажды у меня зашел спор с одним из наших местных производителей сухих смесей. Он утверждал, что без всякой механохимии ему удастся изготавливать высококачественные сухие смеси, ничем не уступающие западным аналогам. Главное, дескать, использовать хороший импортный смеситель, соблюдать технологический регламент и не жульничать с дорогими модификаторами. Я не стал спорить, а просто подвел его к смесителю, установленному в цехе. Смотри, говорю: на привод собственно смесителя у тебя установлен двигатель в 5 кВт, но сбоку торчат еще три, каждый по 3,5 кВт. Они-то зачем? Думаешь, это деагломераторы, как написано в инструкции, чтобы разбивать крупные комки? Как бы не так – это простейшие дисмембраторы, только изготовители смесителя сочли, что тебе это знать вовсе не обязательно.

В то же время достоверно установлено, что бездумная активация цемента, когда сложные и многофакторные представления, описывающие теорию гидратации вяжущих, подменяются простым дополнительным их измельчением, с получением сиюминутной технологической выгоды, оборачиваются серьезным снижением долговечности строительных конструкций. Поэтому вполне понятна предубежденность большинства серьезных бетоноведов к проблеме активации вяжущих и прочей механохимической экзотике. И если рассматривать проблему в плане ее результативности для традиционных тяжелых бетонов, да еще через призму эффективности строительной индустрии в масштабах страны, то они, безусловно, правы. Но в последнее время бурно развиваются новые строительные технологии, в частности, пенобетонные, для которых академические критерии традиционного бетоноведения уже не всегда бывают справедливы, а то и просто ошибочны.

В связи с вышесказанным приведу цитату из книги Марка Шиковича Файнера «Новые закономерности в бетоноведении и их практическое приложение», изданной в 2001 г., тем более что автору и реализатору одного из методов активации цемента, как говорится, и карты в руки:

«Уроки истории не были бы достаточно полными без рассмотрения ошибок и просчетов в самой науке о бетоне, подготовке специалистов – строителей и технологов. Конечно, поиск, к сожалению, всегда связан с заблуждениями и недоработками, и быть «умным» на прошлых ошибках, а тем более чужих, легче, чем самому добывать новые знания. Но в данном случае речь идет об ошибках, просчетах и прожектах, которых, безусловно, можно было бы избежать».

Одна из наиболее серьезных проблем в бетоноведении – это проектирование составов бетона. Трудно найти специалистов, а порой даже и дилетантов, которые не касались бы этого вопроса. В чем конкретно суть вопроса? Заданы

требования к бетонной смеси и бетону, оговорены свойства применяемых материалов – цемента, воды, крупного и мелкого заполнителей, условия транспортировки, формирования и твердения. Необходимо определить расход компонентов на 1 м³ бетона в уплотненном состоянии. Как и в любой науке, технология должна строиться на определенных закономерностях, но, увы, на практике все регулируется «на глазок».

Ни одно направление в технологии бетонов не развивалось с такими большими и бесполезными затратами и ошибками, как разработка методов активации компонентов бетонной смеси. Сколько времени и средств было затрачено в 50–60-х годах на внедрение в практику строительства вибродомола цемента! Сколько научных статей и диссертаций написано в 60–70-х годах по магнитной обработке воды для затворения бетонной смеси, сколько промышленных установок для омагничивания воды установлено на заводах! Сколько научной энергии затрачено в эти же годы на ультразвуковую обработку цементно-водных суспензий! Прибавим к этому еще талую и ионизированную воду, сочетание ультразвуковой и магнитной обработки воды и т.п. А кто объективно соизмерил эффект и затраты, связанные с освоением в 80-х годах так называемой раздельной технологии приготовления бетонной смеси, в общем-то давно известной под другим названием, но испорченной плохим исполнением?

А сколько средств истратчено на так называемую «беспроборочную» технологию, на использование «чудо-добавок» с надуманными эффектами. И еще довольно неприятный вопрос: если отбросить фантазии, то насколько связаны сегодня научные исследования с технологией бетона и какая реальная отдача от этих работ? Приведенный обзор был бы неполным, уроки плохими, а позиция автора осталась бы беспринципной без конкретного анализа продуктов «мусорной свалки» науки о бетоне.

Сегодня, возможно, как никогда информационное пространство науки захламлено наукообразным фальсификатом и бутафорией. Если верить публикациям в научных журналах и рекламным проспектам, то бетон можно было бы давно изготавливать без цемента, а себестоимость его снизилась бы, по самым скромным подсчетам, в 2–3 раза. К большому сожалению, это далеко не так. Наука о бетоне чаще всего сводится к диссертациям, отдельным фрагментам и недобросовестной рекламе. За именами в науке о бетоне, порой известными, довольно часто стоит не конкретный вклад в бетоноведение, а привлекательные картинки из статей, должности и звания. Чаще всего для видимости научности заимствуют без глубокого анализа и привязки к теории и практике бетона известные положения из различных областей фундаментальных наук. Нередко за новые знания о бетоне выдаются процессы, связанные с отдельными вопросами, не имеющими принципиального значения в бетоноведении. Безусловно, для бетоноведения интересны вопросы квантовой теории, реологии, гидратации вя-

жущих, математического моделирования, но вся проблема в том, как они вписываются в саму науку о бетоне и что нового в нее вносят. Критерий оценки здесь прост: эксперимент и практика. Численное решение абсолютного большинства приведенных в таких работах примеров показывает их банальность, а порой и абсурдность.

Еще один способ, позволяющий отделить рекламную шумиху и наукообразие от истины – это ясность, прозрачность и воспроизводимость».

С этих позиций и продолжу дальнейшее изложение. Но хочу предостеречь читателей – не существует никакой универсальной технологии, способа или ноу-хау, познав секрет которых удастся изготавливать высококачественную продукцию. Но есть отработанный десятилетиями подход, в обобщенном виде называемый «соблюдение культуры производства и технологической дисциплины». Он зиждется на понимании и строгом исполнении комплекса неких основополагающих факторов, что и обеспечивает надлежащее качество продукции. Именно с таких позиций и будет строиться дальнейшее повествование по данной теме.

Глупо и безрассудно надеяться, что применение какой-либо сказочной технологии (той же механохимии, например), «суперкрутой» добавки или «навороченного» пенообразователя освобождает от точного, пунктуального и обязательного соблюдения основных постулатов бетоноведения. Это только в рекламных буклетах можно поймать удачу за хвост, ничего не делая. Но даже в известной сказке, прежде чем осуществилось волшебство, старик и нагоняй от бабки схлопотал (применительно к нашей теме – она ему дала техзадание и сформулировала технические условия его реализации), и призадумался, и опечалился дед (поиск путей натурной реализации ТУ), и к морю пошел, и сеть три раза бросал (реализация комплекса мероприятий по осуществлению задуманного), и назад к бабке воротился (проверка ОТК), и откорректировал техпроцесс в соответствии с требованиями заказчика («...осерчала старуха пуще прежнего, повелела...») и т. д.

3.2 Основные направления модифицирования и оптимизации применительно к прикладному бетоноведению

Задаваясь проблемой повышения прочности строительных изделий на основе цемента, нужно знать, до каких прочностных показателей можно дойти хотя бы теоретически. Иными словами, какова максимально достижимая прочность для тяжелых цементных бетонов – самых прочных из применяемых в строительстве?

В лабораторных условиях методом горячего прессования при температуре $+250^{\circ}\text{C}$ и давлении 3500 кг/см^2 удалось достичь следующих показателей прочности на сжатие: через 1 сутки $R_{\text{сж}} = 4120\text{ кг/см}^2$, а через 90 суток – $R_{\text{сж}} = 6550\text{ кг/см}^2$. Это более чем в 10 раз превышает самую высокую достижимую прочность бетона, получаемую в обычных условиях.

Что послужило залогом столь высоких прочностных показателей? В первую очередь, конечно, оптимальность подбора компонентов экспериментальной бетонной смеси. И что немаловажно, очень малое водоцементное соотношение – менее 0,1 (в жизни редко удастся опуститься ниже $\text{В/Ц} = 0,35$). Кроме того, комплекс мероприятий – низкое В/Ц , направленная гидратация новообразований под воздействием высоких температур и давлений – обеспечил и очень низкую пористость такого бетона, на уровне всего 2–3%. А ведь именно внутренняя пористость в основном и формирует прочностные характеристики бетона: чем она меньше, тем выше прочность.

Если учесть, что пористость большинства серийно выпускаемых ячеистых бетонов составляет примерно 70%, что соответствует плотности в районе 800 кг/см^3 , то можно предположить, что и теоретически максимально достижимая для них прочность должна находиться где-то в районе $150\text{--}180\text{ кг/см}^2$. Сказочные числа. Жизнь корректирует их в меньшую сторону многократно.

Чтобы не путаться в дальнейшем, давайте строго определимся – в ячеистых бетонах существует пористость двух уровней. Макропоры, сформированные пеной и(или) выделяющимися газами, формируют ячеистую структуру бетона. Оптимальность их геометрических размеров и распределения в массиве бетона очень сильно отражается на его теплофизических и прочностных характеристиках (эту тему мы рассмотрели ранее).

Но существуют еще и поры микроуровня (в дальнейшем я их так и буду называть), которые имеют размерность, выражаемую в микронах. Это чрезвычайно мелкая, различимая только под мощным микроскопом микропористость цементного камня. Она формируется на стадии гидратации цемента, в результате его химических реакций с водой, и самым непосредственным образом отражается не только на прочностных характеристиках пенобетона, но и на эксплуатационных – водопроницаемости, водопоглощении, стойкости к низким температурам и трещинам и т. д.

И если пористость на макроуровне регулируется мерами технологического характера, в обобщенном виде – соотношением пены (или выделившегося газа) с цементным клеем, то на микропористость можно воздействовать исключительно на уровне химических реакций, протекающих при затворении цемента водой. Поэтому, рассматривая проблему в этом ключе, пытаюсь понять пути направленной модификации этих химических реакций и сопутствующих им яв-

лений, решение следует искать в плоскости оптимизации именно химических реакций и по методологии, принятой в современной химической науке.

Интерпретируя общую химическую технологию применительно к нашим нуждам – химической реакции взаимодействия между веществами, формирующими пенобетон, и водой, для начала следует определиться, а что же у нас, в конце концов, вступает во взаимодействие? И хотя этот перечень будет не исчерпывающим (особенно с позиций академического бетоноведения – да простят меня коллеги), в первом приближении я предлагаю остановиться на следующих веществах, вступающих в реакцию: вода, вяжущее, заполнитель, наполнитель и некое вещество «X» привнесенное в систему пено- или газообразователем. Условия протекания реакции, обусловленные внешним влиянием среды, также существенны. Но самыми главными следует все же признать температуру, влажность и наружное давление. Причем эти параметры важны как сами по себе, так и скорость их изменчивости (градиент) во времени.

Модификация веществ, вступающих в химическую реакцию, и условий протекания этой реакции в той или иной мере отражаются на конечной прочности. Но подобная модификация не всегда оправдана экономически. Чтобы отобрать наиболее действенные, но недорогие приемы, нужно прежде всего рассмотреть их все в отдельности. А затем попробовать скомпоновать их в оптимальный техпроцесс. С этого и начнем.

3.2.1 Модификация воды

Без воды невозможно начало химической реакции, превращающей разрозненные компоненты бетонной смеси в единый монолит. Ее роль в этом процессе сложно переоценить. Поэтому вполне объяснимо стремление модифицировать многие химические процессы, происходящие в присутствии воды, в том числе и образование цементного камня, именно по пути изменения некоторых ее свойств.

В бетоноведении роль модифицированной воды – одна из самых малоизученных и скандальных тем. При том, что с периодичностью примерно в 10 лет ученые-бетоноведы всего мира вновь и вновь возвращаются к этой теме, факторы, влияющие на изменение характеристик бетонов, обусловленные применением модифицированной воды, остаются еще во многом неясными. Все это обусловило разделение ученых-бетоноведов на два противоборствующих лагеря. Одни с пеной у рта утверждают, что шаманить над водой – чистейшее шарлатанство, недостойное серьезных исследователей. Другие столь же ожесточенно доказывают обратное. Истина, как всегда, где-то посередине.

Ожесточенные дискуссии в научных кругах по этому вопросу обусловлены в первую очередь низкой воспроизводимостью экспериментов. И действительно

но, порой даже один и тот же исследователь в абсолютно идентичных условиях не может воспроизвести свой предыдущий эксперимент, принесший сенсационные результаты, граничащие с Нобелевским лауреатством.

Ситуацию усугубляет и тот факт, что любой бетоноведческий эксперимент в глазах современного физика или химика-экспериментатора – просто надругательство над здравым смыслом. В науке давно существуют тонкие и точные механизмы, приборы и приемы, обеспечивающие количественную и качественную оценку как результатов любого эксперимента, так и условий его проведения. Причем современная наука легко оперирует с размерностями, выражаемыми с приставками пико-, нано-, микро-. Бетоновед-экспериментатор с его мегапаскалями, килограммами и сантиметрами в этой ситуации похож, образно говоря, на слона в посудной лавке: вломился с грязными ногами, все передал, уселся посредине на обломках и, грызя глиняный кувшин, пытается разгадать рецептуру китайского фарфора.

Изменения многих свойств гомогенных водных систем под воздействием внешнего магнитного поля настолько незначительны, что не только оценка, но и простая их фиксация требует особо точной аппаратуры и полной стабилизации условий проведения экспериментов. Во многих случаях состояние современной экспериментальной базы не позволяет столь строго абсолютизировать методику проведения таких экспериментов. Наличие в воде примесей, даже в молекулярной и ионной форме, а также растворенных газов может существенно отразиться на результатах воспроизводимости эксперимента.

Водные системы очень чувствительны к внешнему электромагнитному воздействию. Это сильно осложняет технику лабораторных экспериментов. Она в этом случае должна быть не только точной, но и весьма специфичной. Достоверно установлено, что даже 100-ваттная лампочка, включенная на расстоянии 10 м от сосуда с водой, изменяет некоторые ее свойства.

Характеристики магнитного поля по его средней напряженности, общепринятой в современной науке, совершенно недостаточны для случая магнитной обработки воды. А более детальная характеристика магнитного поля и его вариаций в процессе проведения экспериментов, как правило, не оценивается, что делает несопоставимыми условия и результаты опытов разных исследователей.

Говоря о роли внешних факторов внешних наводок при омагничивании водных систем, нельзя обойти молчанием и сезонную зависимость результатов (хотя этот вопрос рассматривается учеными-геоцентристами неизменно скептически). Так, например, неоднократно подтверждался тот факт, что омагничивание воды, применяемой для затворения цементных растворов, наименее эффективно в мае-июле. Многократно проводившиеся эксперименты убедительно и однозначно свидетельствуют, что в абсолютно идентичных условиях прирост прочности образцов, затворенных омагниченной водой, составил в январе 50–60 %, мае 2–5 %, сентябре 20–25 %, а в октябре 40 %. Причины таких

проявлений сезонности точно не установлены. Можно только предположить, что в эксперимент вносило свои коррективы геомагнитное воздействие солнца. Во всяком случае, их нельзя связать с поступлением талых вод, поскольку опыты проводились с использованием бидистиллятов.

В любом случае, даже не зная, как ЭТО работает, человечество давно и достаточно эффективно научилось использовать магнитное воздействие на вещества, в том числе и на воду, в своих целях.

Омагничиваемая вода растворяет накипь в котлах. Причем она это делает настолько эффективно, что становится возможным использовать даже морскую высокоминерализованную воду. Она способна минимизировать инкрустации в аппаратах нефтяной промышленности. Простейшие магнитики, установленные в 120 скважинах объединения «Азнефть», приносят 75 тыс. руб. дохода в год и позволяют экономить до 50 км труб (здесь и далее цены 80-х годов).

Омагниченная вода улучшает сгущение и фильтрование суспензий. И вот на комбинате «Апатит» устанавливаются 50 аппаратов, и они приносят до 170 тыс. руб. в год.

Применение омагниченной воды только на одном золотодобывающем руднике экономит 100 тыс. руб.

В керамической промышленности применение омагниченной воды ежегодно дает до 500 тыс. руб. экономии, а прочность сантехизделий и кирпича повышается на 25–40 %.

Использование омагниченной воды при производстве бумаги повышает производительность бумагоделательных машин на 30%.

Устройства, омагничивающие воду, позволяют существенно повысить урожайность сельскохозяйственных культур.

Давно и успешно применяется омагниченная вода в строительной промышленности. Вот отдельные данные об экономической эффективности этого метода, взятые только из официальных актов предприятий в 80-х годах:

- завод железобетонных изделий треста «Черноморстрой» экономит 1900 т. цемента в год, или около 40 тыс. руб. в год;
- минимальная годовая экономия на Волгоградском заводе напорных труб составляет 100 тыс. руб. в год;
- внедрение этого метода на Шапсугском заводе принесло 10 тыс. руб. годовой экономии;
- экономический эффект на небольшом заводе «Кислотоупор» составил 30 тыс. руб. в год;
- Минский ДСК-1 при производстве тяжелого бетона на каждых 50 тыс. м³ экономит по 15 тыс. руб.;
- небольшой бетонный завод треста «Азморнефтестрой», производящий ежегодно 23 тыс. м³ бетона, экономит по 20 тыс. руб. в год.

Этот перечень можно продолжать.

Следует отметить, что затраты на внедрение установок, как правило, окупаются через несколько месяцев или даже недель. В ряде случаев каждый затраченный рубль на установку оборудования омагничивания воды, приносит прибыль, исчисляемую сотнями и тысячами рублей.

3.2.1.1 Твердение цементного камня, затворенного омагниченной водой

В СССР начало применения омагниченной воды при затворении бетонов относится к 1962 г. (Нейман Б.А. *свид. СССР № 237664 от 1962 г.*). С тех пор велись и по сей день ведутся серьезные исследования в этом направлении.

Известно, что в процессе твердения цементного камня одновременно протекает ряд сложных процессов: растворение и гидратация цементных минералов с образованием перенасыщенных растворов, самопроизвольное диспергирование этих минералов до частиц коллоидных размеров, образование тиксотропных коагуляционных структур и, наконец, возникновение, рост и упрочнение кристаллизационных структур. И омагничивание воды влияет на все эти процессы. Следовательно, влияние магнитной обработки воды, используемой для растворения, на твердение и свойства цементного камня является вполне закономерным.

Попытами установлено, что затворение цемента омагниченной водой приводит к значительному повышению прочности камня. Причем зависимость прочности от напряженности поля имеет экстремальный характер. Увеличение прочности зависит также от скорости потока воды (см. *рис. 3.2.1.1-1*).

Все улучшения прочностных характеристик бетона обусловлены несколькими факторами, на которые влияет омагничивание воды. Главные из них, это ускоренное нарастание пластической прочности цементного камня, измеряемой по предельному напряжению сдвига. При затворении обычной водой имеется значительный индукционный период выкристаллизовывания цемента. В случае же затворения омагниченной водой пластическая прочность начинает активно расти почти сразу же после затворения (см. *рис. 3.2.1.1-2*). При этом отмечается более быстрое диспергирование частиц до микронных размеров.

Микроскопические исследования также показали увеличение скорости гидратации цемента в омагниченной воде. Причем значительно возрастает количество кристаллов сульфоалюмината кальция и гидроокиси кальция, а размеры их уменьшаются. Кристаллы находятся не только на поверхности зерен гидратирующегося цемента, как обычно, но и в объеме всей массы. Исследование цементного камня трехдневного возраста под электронным микроскопом показало, что в омагниченной воде структура камня гораздо более мелкозернистая.

Кроме того, многочисленные эксперименты показали, что эффект магнитной обработки воды во многом зависит и от ее химического состава. Примеси ионов железа и хлоридов чаще всего оказывают положительное влияние. Неко-

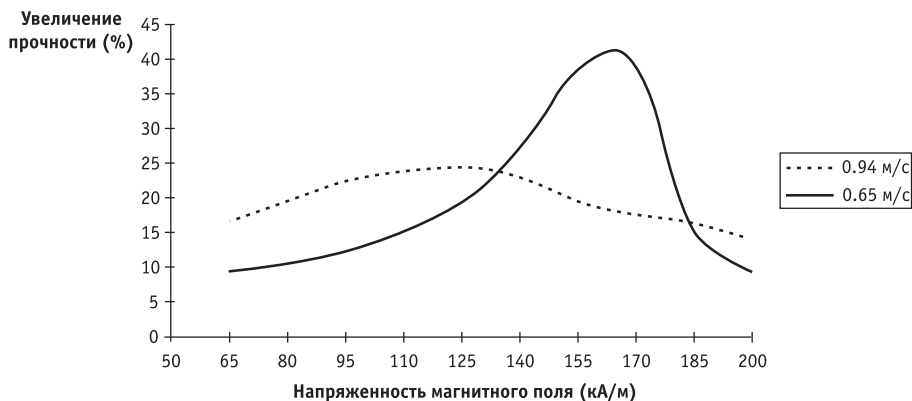


Рис. 3.2.1.1-1 Повышение прочности цементного камня в зависимости от напряженности магнитного поля и скорости потока воды

торые газы (остаточный хлор, аммиак) – отрицательное. Очень большую роль также играют соли жесткости – и сами по себе, и их взаимное соотношение. Достоверно установлено, что наилучшие результаты достигаются при следующих концентрациях солей: сульфата магния – 1,2 г/л, сульфата кальция – 1,2 г/л, хлорида магния – 2,8 г/л.

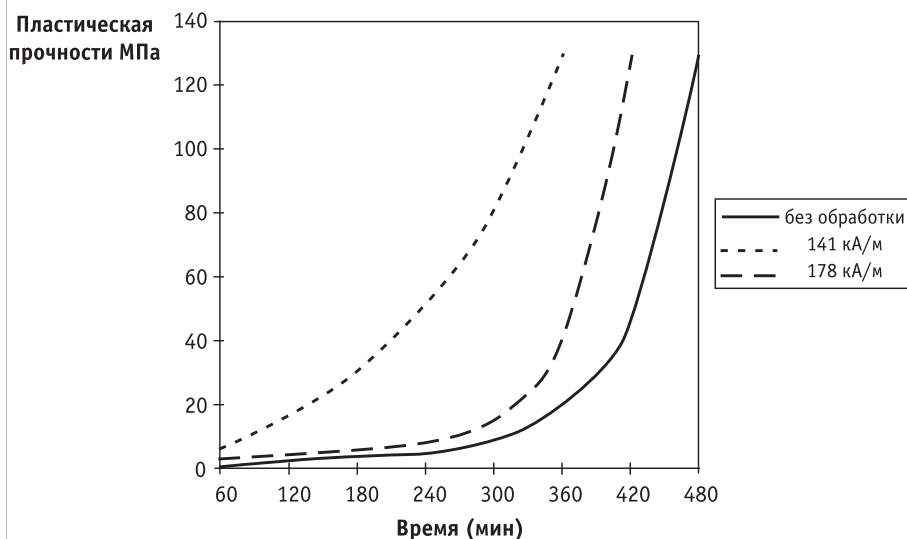


Рис. 3.2.1.1-2 Влияние омагничивания воды на рост пластической прочности цементного камня

3.2.1.2 Аппараты для омагничивания воды с постоянными магнитами

Аппараты, сконструированные во Всесоюзном теплотехническом институте, оснащены постоянными кольцевыми магнитами, изготовленными из сплава «магнико» (ВТИ-1) или из сплава «АЛИИ» (ВТИ-2). Внутри кольцевых магнитов помещены сердечники из железа «армко», их диаметр определяет величину зазора и, следовательно, напряженность поля (примерно 79,6 кА/м, или 1000 Э). В этом аппарате поток жидкости пересекает два поля (рис. 3.2.1.2-1).

Аппараты ПМУ-1, серийно выпускаемые только заводом им. Войкова, состоят из трех-пяти однотипных, последовательно соединенных чугуновых секций. Кольцевой зазор между постоянными магнитами и корпусом составляет 2,5 мм. Напряженность магнитного поля (максимальная) в первой секции 87,6 кА/м (1100 Э), в остальных четырех по 143 кА/м (1800 Э). Скорость воды 1–2 м/с, производительность 2–7 м³/ч. В 1963 г. этот завод выпустил 30 аппаратов, в 1977 г. выпуск достиг 65 тыс. штук. Стоимость одного аппарата – 26 руб.

Бельгийская фирма «Эпюро» в течение нескольких десятилетий выпускает аппараты «Сери» (по патенту Т. Вермайрена), оснащенные постоянными магнитами, производительностью от 0,03 до 36000 м³/ч. В США аналогичные аппараты производит фирма «Паккард», в Великобритании – фирма «Поляр». В литературе обычно приводится лишь внешний вид этих аппаратов и не дается описания их конструкции. Лишь в последние годы появились фотографии вскрытых крупных аппаратов «Сери», на которых видно, что обрабатываемая вода протекает че-

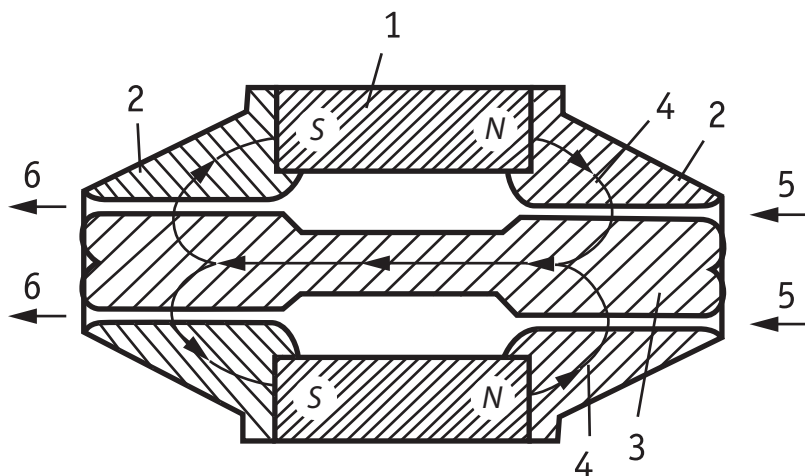


Рис. 3.2.1.2-1 Схема аппарата ВТИ-2: 1 – постоянный магнит; 2 – полюсные наконечники; 3 – сердечник; 4 – силовые линии; 5, 6 – вход и выход воды.

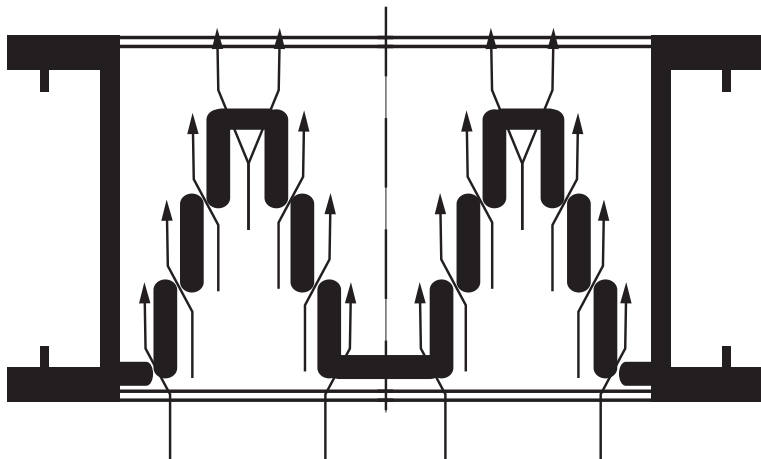


Рис. 3.2.1.2-2 Схема движения воды в высокопроизводительном аппарате «Сері» типа Т-56.

рез узкие зазоры между цилиндрическими и кольцевыми постоянными магнитами (в данном обзоре фотография заменена на схему – см. *рис. 3.2.1.2-2*).

Корпуса аппаратов изготавливают из металла, а также из синтетических материалов. Конструкцию аппаратов «Сері» следует рассмотреть подробнее, поскольку принцип их работы может стать основой для суждения о механизме магнитной обработки и способах оптимизации процесса.

Единственным устройством, запатентованным 12.10.66г. Т.Вермайреном в Советском Союзе (патент № 288683), является «...устройство для обработка жидкости с помощью магнитного поля, представляющее собой канал, стенки которого образованы магнитами, создающими поперечное магнитное поле, отличающееся тем, что с целью повышения эффективности обработки жидкости рабочий участок канала выполнен из продольных постоянных магнитов, каждый из которых имеет в центре выступ, представляющий собой полюс противоположного знака полюсу концов, а полюса расположенных один против другого выступов имеют различные знаки».

На *рис. 3.2.1.2-3* приведен разрез аппарата «Сері» невысокой производительности, реализующий указанный патент. Результаты измерения напряженности поля по длине этого аппарата (очень детальное, скрупулезное обследование аппаратов Вермайрена было осуществлено в СССР в начале 70-х), показали, что она изменяется: примерно на трети расстояния от концов аппарата знак полюсов меняется; в области сужения, образуемого кобальт-самариевыми магнитами, напряженность поля резко возрастает до 320 кА/м (4000 Э). Следовательно, в этом аппарате поток воды проходит поля переменной полярности, а также область

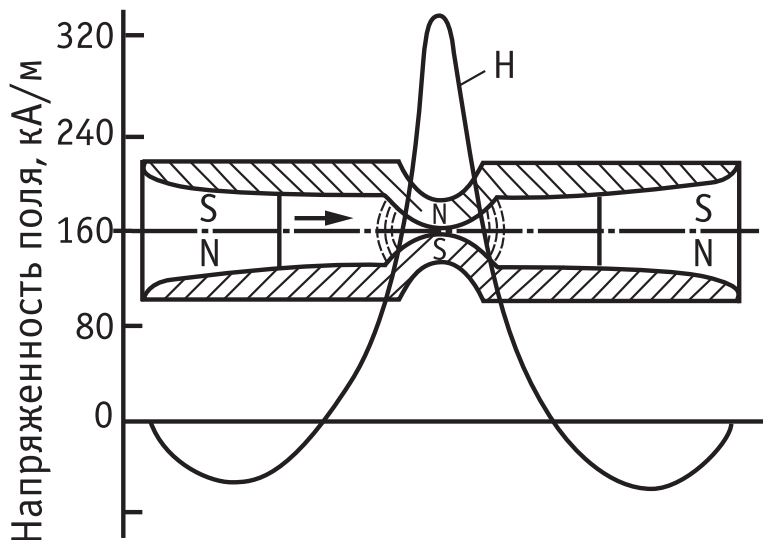


Рис. 3.2.1.2-3 Разрез небольшого аппарата «Сері» типа АД 1/2 (минимальный расход воды – 0,12 м³/ч, максимальный – 0,48 м³/ч, масса 0,25 кг, геометрические размеры: длина 100 мм, диаметр 22 мм).

с очень высоким градиентом напряженности. Кроме того, в этом узком канале, в соответствии с законами гидродинамики, возникает резкий перепад давления.

В настоящий момент выпускается около 100 различных модификаций аппаратов сходной конструкции. Их применяют как для омагничивания воды, так и для обработки более агрессивных и концентрированных растворов – аммиачных растворов, щелочей, кислотных и бисульфитных щелоков, растворов сахара, вин, коньяка и др.

3.2.1.3 Аппараты для омагничивания воды с электромагнитами

В аппаратах этого типа электромагниты могут быть расположены и внутри корпуса, и вне его. Последний вариант предпочтительней, поскольку упрощает изделие конструктивно и облегчает его обслуживание. Примером аппаратов с внутренним расположением электромагнитов является конструкция, серийно выпускаемая Алма-атинским заводом тяжелого машиностроения. Электромагниты этих аппаратов состоят из стального стержня с шестью кольцевыми пазами, в которых размещена обмотка из провода ПЭЛ-1 диаметром 0,37 мм. Ток постоянный; после выпрямителя напряжение составляет 100 В, сила тока 0,5 А. Напряженность магнитного поля достигает 200 кА/м (2500 Э). Кожух с электромагнитом заполнен трансформаторным маслом. Вода проходит семь магнитных полей со скоростью 2 м/с. Производительность аппарата 25 м³/ч, стоимость около 300 руб.

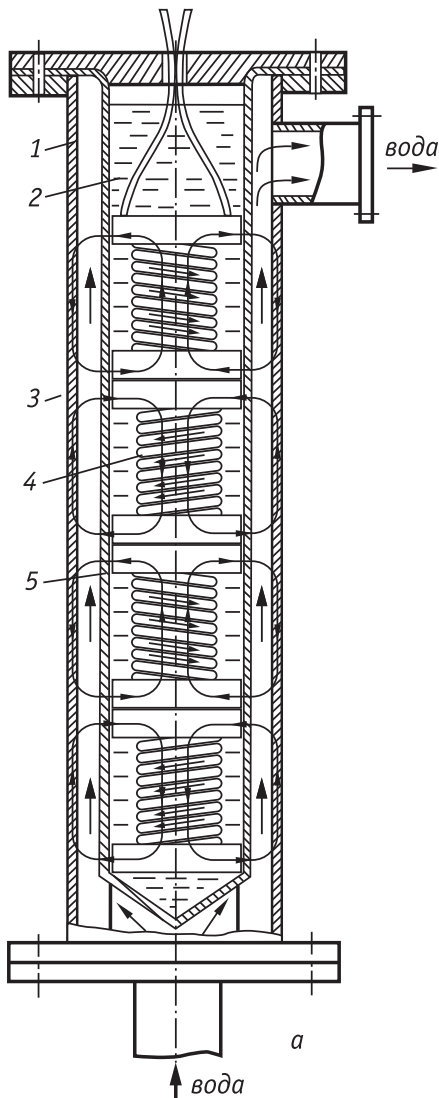


Рис. 3.2.1.3-1 Аппарат Харьковского инженерно-экономического института с внутренним расположением электромагнитов: 1 – корпус аппарата; 2 – трансформаторное масло; 3 – кожух из диамagnetного материала; 4 – катушки; 5 – полюса электромагнитов.

Аналогичные аппараты эпизодически выпускает Копейский рудоремонтный завод и некоторые другие предприятия. Сходную конструкцию имеют аппараты Харьковского инженерно-экономического института (рис. 3.2.1.3-1).

На рис. 3.2.1.3-2 показан аппарат, также сконструированный в Харьковском инженерно-экономическом институте, но с наружным расположением катушек электромагнитов.

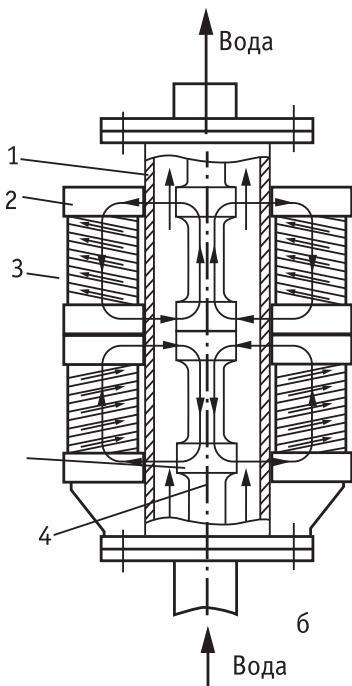


Рис. 3.2.1.3-2 Аппарат Харьковского инженерно-экономического института с наружным расположением электромагнитов: 1 – стальная труба; 2 – полюса электромагнитов; 3 – катушки; 4 – магнитный сердечник.

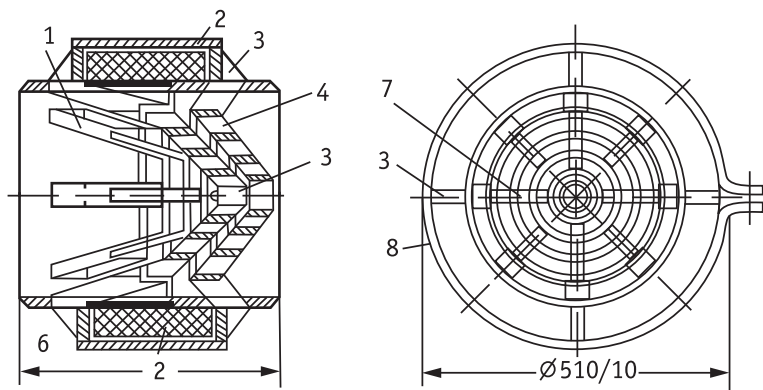


Рис. 3.2.1.3-3 Аппарат для «послойной» магнитной обработки воды: 1 – левая полярная система; 2 – намагничивающая катушка; 3 – косынка; 4 – правая полярная система; 5 – центральный конус; 6 – диамагнитная обечайка; 7 – магнитопроводы-вставки; 8 – хомут магнитопровод.

На рис. 3.2.1.3-3 приведен пример аппарата с послойной магнитной обработкой воды. В аппарате этого типа вода проходит через кольцевые щели, где и происходит ее послойное омагничивание. Конструктивно аппарат состоит из двух внешних отрезков трубы, между которыми концентрически расположены кольца из магнитомягкого железа, составляющие левую и правую кольцевые системы, смещенные относительно друг друга. Эти кольца намагничиваются

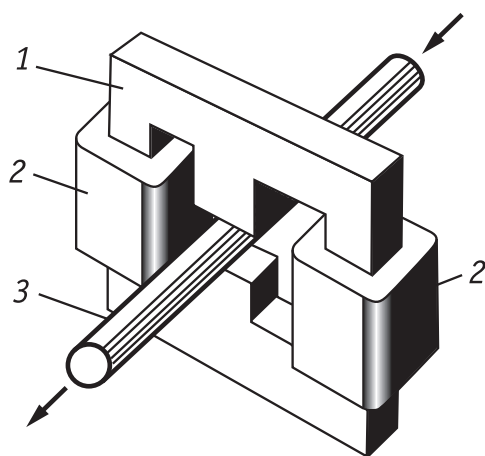


Рис. 3.2.1.3-4 Схема аппарата трансформаторного типа: 1 – ярмо; 2 – катушки; 3 – диамагнитная труба.

внешней катушкой. Магнитный поток по левой и правой системам распределяется при помощи основных магнитопроводов и коротких вставок между кольцами. Зазоры между кольцами левой и правой магнитных систем уменьшаются от периферии к центру. Этим достигается равенство средних напряженностей магнитного поля во всех зазорах, хотя локальная напряженность изменяется по очень сложному закону. Применение подобных омагничивающих устройств – ноу-хау некоторых пивоваренных компаний России и Украины, позволившее им достичь очень высокого качества продукции. Установка подобных из-

делий на танковых дизелях позволяет избежать образования накипи в системах охлаждения, даже при использовании высокоминерализованных вод некоторых пустынных районов нашей планеты.

Кроме того, в промышленности применяются омагничивающие аппараты трансформаторного типа (см. *рис. 3.2.1.3-4*). Простота изготовления и эксплуатации этих приборов, конструктивно похожих на обычные трансформаторы, возможность их установки и снятия без разгерметизации трубопроводов обусловили их широкое распространение в промышленности.

3.2.1.4 Некоторые соображения по поводу применения омагниченной воды в прикладном бетоневедении

Почему же при столь весомом и достоверно подтвержденном экономическом эффекте омагниченная вода как способ модификации бетонов в настоящее время практически не применяется строительной индустрией на постсоветском пространстве?

Этот вопрос долго не давал мне покоя. Перерыл гору литературы, неоднократно беседовал со специалистами, в том числе и непосредственно принимавшими участие в исследовании этого феномена. Не берусь утверждать, что мои выводы безупречны. Но рациональное зерно в них есть, я надеюсь.

Анализ строительной периодики однозначно показал – любая публикация по этой теме неизменно вызывает бурный интерес в обществе. Как со стороны строителей практиков, так и бетоноведов-теоретиков. А последних в особенности – уж очень благодатная тема. Любой серьезный исследователь, тяжким трудом завоевывавший свой научный авторитет, как только затрагивает тему омагничивания воды, сразу добровольно «подставляется» под огонь критики. Достаточно провести экспериментальную проверку исследований в другое время года – и вот прекрасный материал, как «насолить» давнему оппоненту, публично и аргументированно усомниться в его научной состоятельности. Как и в любой другой отрасли знания, в теоретическом бетоневедении круг ученых-исследователей достаточно узок и корпоративен. Все друг о друге все знают – читали, оппонировали, рецензировали, критиковали, вместе учились, совместно работали... Как и в любом другом устоявшемся «междусобойчике» подобное тесное общение неизменно сопровождается склоками, интрижками, подсиживаниями и постоянной научной грызней, перманентно переходящей в братание. Публично выпороть давнего научного оппонента на научной конференции или в специализированной прессе считается чуть ли не правилом хорошего тона. И слава богу, подобная соревновательность научных идей и школ только на пользу обществу.

И вот приходит молодой талантливый аспирант к своему научному руководителю, падает ниц – благословите, отчете, на дела великие и свершения во славу Отечества, желаю защищаться на омагничивании.

«Отче» замахал руками и молвил: «Окстись отрок! Ты малый не дурак и наверняка своими исследованиями шуму наделаешь много. Но только мне наемдни велено было на международную конференцию по бетонovedению прибыть – державу представлять. Твое имя там неведомо – молод еще, а мое каждая собака знает. Наверняка пронюхают, что я научный руководитель этой темы, накинутся всей сворой и разделают под орех. Тебе не жалко старика? Дай помереть спокойно!»

Вы уже догадались, какая дальнейшая судьба после всего этого ожидает молодого да талантливого? А вот и не угадали!

По первому сценарию он отправляется со своим престарелым академиком на эту зарубежную конференцию. Официально – Учителю чемоданы подносить, неофициально – организовывать грамотный «промоушн» своих исследований. И что самое пикантное во всей этой истории, именно закулисными стараниями этого самого академика там им обоим воздается по заслугам. Престарелому академику – почетную грамоту и билет на обратный путь, много ли старику надо? А молодой и талантливый, еще раз убедившись, что его учитель – это Учитель с большой буквы, преисполненный сыновней благодарности отправляется в какой-нибудь Кембридж или Оксфорд продолжать начатые исследования. И хотя теперь с их результатами станет возможным ознакомиться только после покупки патентов и лицензий на высокоэффективное оборудование для производства строительных материалов, так ли уж много потеряла от этого Наука?

Встречаясь на международных бетонovedческих конференциях, соотечественники над таким подсмеиваются – публикаций, мол, нет совсем, сидишь в уголке, не докладываешься, а только слушаешь. Айда с нами, у нас хорошо, у нас Майдан, плюрализм и «побудова демократычного суспильства», твои исследования в журнальчик тиснем. Вот и билет на паровоз тебе уже купили. «Да нет, спасибо, – скромно отвечает молодой и талантливый, – я уж как-нибудь своим ходом – вон и самолетик за мной уже прислали...»

По второму сценарию молодой и талантливый оказывается еще и с предпринимательской жилкой. Вовремя смекнув, что с агонизирующей строительной индустрии много не возьмешь, он перенацеливает свои исследования в другое русло – да хоть бы печки чистить, то бишь котлы в котельных. Там каждый сотый процент накипи в котлах съедает миллионы кубометров газа по стране. Просто золотое дно, если научиться энергетиков от этой накипи просто и безболезненно избавляться. И омагниченная вода здесь придется как нельзя кстати.

Есть еще и третий сценарий. Самый для нас интересный, так как непосредственно касается малого бизнеса, использующего в производстве строительных материалов омагниченную воду. Попытаемся проследить за размышлениями молодого ученого в этом направлении. Тем более что эффект от омагниченной воды уж очень созвучен людской натуре. И если мы подыскиваем витиеватую

аллегория на способ минимизации трудозатрат при ловле рыбы в пруду, те же англичане рубят правду-матку прямо и определенно – «Халява, сэр!»

Из-за чего грызутся ученые мужи, что их не удовлетворяет в омагниченной воде? Ответ на поверхности: слабая воспроизводимость эксперимента. И вот здесь требуется небольшое отступление.

Итак, ученый предлагает какой-либо способ, изменяющий нечто. Без разницы, что. Без разницы, как. И ему как исследователю, по большому счету, неважно, положительный получится результат или отрицательный. Его главная задача – раскрыть механизм, в соответствии с которым ЭТО происходит. Подтвердить правильность выдвинутой теоретической модели призван эксперимент. Причем чем более точно он всякий раз воспроизводится, тем вернее теоретическая модель, заложенная в его обеспечение. А разброс результатов использования омагниченной воды в бетоноведческом эксперименте достаточно велик. Настолько, что полностью исключает предлагаемые теоретические модели из списка потенциально диссертационных. В этом главный корень проблемы!

Прежде чем принять окончательные очертания, каждый самолет на моделях продувается в аэродинамической трубе. Результаты продувок пересчитываются по 22 критериям подобия. И только после такого пересчета они становятся применимы к натурному полноразмерному образцу. Ведь поток воздуха как объект, отражающий аэрогидродинамику тела, находящегося под его воздействием, постоянен и для модели, и для настоящего самолета, но их геометрические размерности разнятся между собой на порядки. Для корректного переноса результатов продувок и требуется их масштабировать по сложным математическим зависимостям, найденным эмпирическим путем.

Почему же в бетоноведении экспериментатор, оперируя объемами бетона, измеряемыми лабораторным тазом, переносит полученные результаты на промышленные миллионы кубометров без всяких поправочных коэффициентов на масштабируемость? Не в этом ли первопричина того, что результаты экспериментов по омагничиванию воды мало воспроизводимы в промышленных масштабах? При удачном стечении обстоятельств и грамотном подходе промышленные установки показывают блестящие результаты. Их слепое, но точное копирование на другом производстве также наследует высокий положительный эффект. Но как только ученым поручают разобраться с феноменом и они начинают носиться со своими лабораторными тазами, эффект пропадает, а то и меняет свой знак на противоположный!

Многочисленные эксперименты по оценке влияния омагниченной воды на бетоны однозначно свидетельствуют – эффект магнитообработки носит экстремальный характер. Существует некий оптимум как по напряженности магнитного потока, так и по скорости протекания воды, а также ее минералогическому составу. Для каждой отрасли промышленности, использующей омагниченную

воду, он разный. Глубоко ошибочной, порочной и даже вредной следует признать практику бездумного использования омагничивающих приборов, ориентированных на работу в других технологических цепочках.

Так, например, если мы стремимся достичь максимального прироста кубиковой прочности, совокупный параметр, отражающий повышение прочности цементного камня в зависимости от скорости протекания жидкости и напряженности магнитного потока, имеет ярко выраженный экстремум при показателях: скорость протекания воды – 0,65 м/с и напряженность магнитного потока – 155–170 кА/м (см. *рис. 3.2.1.1-1*).

Если нас интересует кинетика набора пластической прочности цементного камня, то при показателях напряженности поля в 141 кА/м удастся достичь чуть ли не линейной ее зависимости (заветная мечта любого пенобетонщика) во времени. Как уменьшение, так и увеличение магнитного поля нивелируют этот эффект до бесполезной траты денег на омагничивающее устройство (см. *рис. 3.2.1.1-2*).

Эта экстремальность так же ярко проявляется и в других параметрах строительных вяжущих. Так, существенное ускорение кинетики набора прочности цементного камня достижимо при напряженности поля в 139 кА/м.

Предварительное введение в воду, подлежащую омагничиванию, двухвалентного железа в количестве 0,6 мг/л приводит к ускоренному образованию центров кристаллизации и повышению прочности гипса.

Значительно влияние магнитной обработки воды на процесс гашения извести. Благодаря этому, варьируя режимами и интенсивностью магнитной обработки, можно повысить прочность газосиликатов на 15–20 %.

Рассуждая примерно в таком духе, наш молодой ученый и сконструировал свой прибор для приготовления омагниченной воды в производстве строительных материалов. Используя серийно выпускаемые постоянные магниты, можно их скомпоновать так, чтобы достичь наиболее оптимальной напряженности магнитного потока для тех или иных конкретных условий. Ну а обеспечить постоянство скорости протекания воды через них способен даже простейший гидростабилизирующий прибор на основе смывного бачка от унитаза. Что самое интересное в этой конструкции – она совершенно не нуждается в какой-либо защите от копирования. Можно прибор распилить, измерить, хоть на зуб попробовать. Пока не разгадаете магнитосилу примененных магнитов, все ваши потуги изготовить аналогичный прибор будут тщетны – просто не получите нужного эффекта.

Чем занят сейчас герой нашего рассказа? Спилывает напильником маркировку с серийно выпускаемых магнитов.

А что мешает вам воспользоваться моими рассуждениями и повторить его путь?

3.2.2 Роль заполнителей в тяжелых бетонах

Бурный интерес вызывает модификация бетонов всяческими активирующими способами. Оно и понятно – народ жаждет чуда. В душе всегда остается место вере в него. И как только появляется малейшая возможность, мы стройными рядами выстраиваемся за очередным мессией.

В бетоноведении подобным чудом можно смело назвать механохимию. Но если провести аллегорические сравнения, то любые способы активации – всего лишь красивая крыша для здания, именуемого «традиционным бетоноведением». Но если фундамент гнилой, а стены кривые, то как его ни украшай, все равно рухнет.

Даже элементарное соблюдение некоторых бетоноведческих постулатов способно само по себе сотворить чудо. Безо всякой химии, механохимии и прочей алхимии. Просто знать и соблюдать. Одним из таких фундаментальных постулатов является подбор заполнителей.

Для пенобетонов проблема заполнителей, на первый взгляд, кажется достаточно простой: песок – он и в Африке песок, зачем его подбирать, а тем более модифицировать? Попробуем все же подойти к проблеме с научной точки зрения. Но для начала следует рассмотреть роль и место заполнителей в тяжелых бетонах.

В цементном бетоне большая часть объема, обычно свыше 70 %, заполнена естественными каменными материалами: песком, щебнем или гравием. Эти материалы называют заполнителями для бетона.

Естественные каменные материалы гораздо дешевле искусственного цементного камня, поэтому понятно стремление строителей ввести в состав бетона как можно больше заполнителей и использовать цементный камень только для склеивания естественных материалов и придания бетонной смеси подвижности.

Какие же размеры зерен каменных материалов будут наилучшими для приготовления экономичной бетонной смеси?

Когда испытываются естественные каменные материалы для их последующего использования в бетоне, основное внимание уделяется возможности составления из них смеси с наименьшим объемом пустот.

Если не вникать в суть вопроса, может показаться очевидным, что объем пустот в смеси из зерен различных размеров определяется размером зерен: чем крупнее зерна, тем меньше промежутков между ними. Но это далеко не так. Представим себе, что мы хотим заполнить кубический ящик размерами 1х1х1 метр шарами одинакового размера; в одном случае поместим в него один шар диаметром 1 метр, в другом – восемь шаров диаметром 0,5 метра. Простой подсчет показывает, что в обоих случаях объем, заполненный материалом, и объем пустот будут одинаковы.

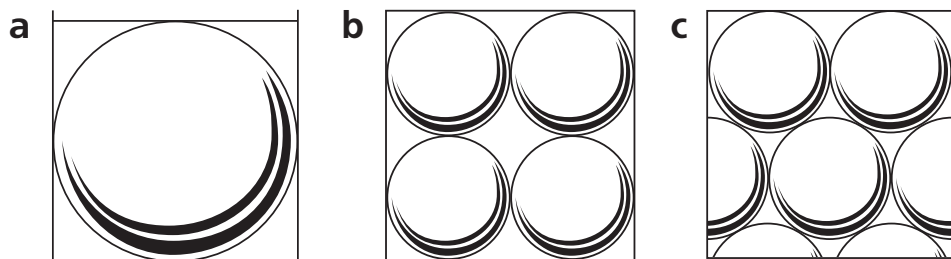


Рис.3.2.2-1 Объем пустот при заполнении пространства частицами одинаковых размеров не зависит от их величины и определяется только способом укладки: а) в ящике со стороной 1 метр поместится один шар диаметром 1 метр. Его объем будет равен 0,524 м³. Пустоты между шарами займут объем 47,6 %; б) в том же ящике поместится восемь шаров диаметром 0,5 метра. Объем каждого шара будет в 8 раз меньше. Объем пустот не изменится – 47,6 %; в) Если же укладку произвести в шахматном порядке, то шаров поместится больше, а объем пустот составит 26 %.

вым. Он равен разнице в объемах куба и вписанного в него шара (рисунок 3.2.2-1). Эта разница составляет примерно 47,6% при расположении шарообразных частиц ряд над рядом и 26% при расположении их в шахматном порядке.

Подобрать такое соотношение между зернами разного размера, при котором процент пустот в смеси был бы наименьшим, – не такая простая задача, как кажется вначале. Бетоноведы пользуются несколькими практическими и теоретическими способами для этой цели. С ними можно ознакомиться в специальной литературе по технологии бетона.

Между тем, существуют два основных направления в подборе зернового состава смеси. В одном случае смесь подбирается из частиц, имеющих различные размеры, от наименьшего до наибольшего – это так называемые смеси с непрерывной гранулометрией; в другом случае смесь составляется из набора частиц, в котором отсутствуют частицы в пределах определенных размеров, – смеси с прерывистой гранулометрией.

В смесях песка и гравия или щебня, пригодных для приготовления бетона, объем пустот составляет 25–35%. У плотного бетона этот объем должен быть заполнен цементным камнем. Если к бетону не предъявляется требование высокой плотности (например, для стен зданий в настоящее время применяется крупнопористый бетон), необходимое количество цементного камня определяется требованиями, предъявляемыми к прочности бетона. В случае армирования бетон должен иметь определенную плотность для предохранения стали от воздействия воздуха, чтобы она не ржавела внутри железобетонной конструкции.

В качестве заполнителя для бетона могут применяться различные каменные материалы из горных пород. Для этих целей пригодны только прочные, устойчивые породы.

В естественных каменных материалах содержатся примеси, вредные для бетона. Это глина, пыль, органические вещества. Если содержание примесей выше пределов, допускаемых стандартами, то песок, гравий или щебень должны быть просеяны и промыты перед употреблением.

Для бетона дорожных покрытий допускается применение щебня, полученного только из прочных пород. Изверженные породы должны иметь прочность не ниже 1000 кг/см^2 , а известняки – не ниже 800 кг/см^2 .

Применение в бетоне естественных каменных материалов, кроме чисто экономических, имеет еще и технические преимущества.

Дело в том, что при твердении цемента происходит выделение значительного количества тепла, как, например, при гашении извести. Это тепло очень медленно отдается в окружающую атмосферу вследствие малой теплопроводности бетона. Если приготовить из цементного теста сплошной куб на хорошем активном цементе, то при стороне куба в 2 метра через двое суток температура внутри куба поднимется до 100°C (рис. 3.2.2-2). Поскольку горячие участки куба расширяются, между внутренними нагретыми и наружными остывающими частями куба возникнут большие температурные напряжения, и в конце концов он будет разрушен образовавшимися трещинами.

Кроме этого, цементный камень на обычных цементах дает усадку, т. е. уменьшается в объеме при затвердевании, что также служит причиной появления трещин. Поэтому количество цементного камня в бетоне должно быть по возможности наименьшим, и создание жесткого каркаса («каменного скелета») из стойких, не изменяющих свой объем материалов, заполнителей бетона, имеет целью уменьшить влияние этих вредных явлений.

Чем ближе свойства каменного материала к свойствам цементного камня, тем лучше их взаимное сцепление и тем выше качество бетона.

Каменные материалы неправильно называют «заполнителями». Они не просто заполняют объем конструкции, но и испытывают напряжения, принимая на себя значительную долю нагрузки, которой подвергается бетон. По существу, именно цементный камень заполняет пустоты «каменного скелета», а не наоборот. Поэтому на вопрос, что же является заполнителем в бетоне, не так-то просто ответить, и название «заполнитель», хотя оно и применяется в настоящее время во многих официальных технических документах, по меньшей

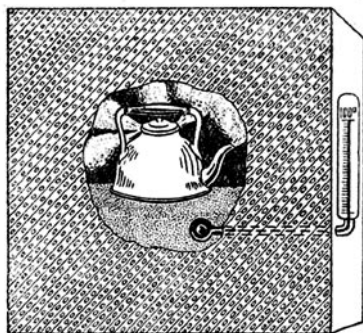


Рис. 3.2.2-2 В чайнике, помещенном внутри куба из цементного теста со стороной 2 метра, вода закипит через двое суток.

мере неточно по отношению к каменным материалам, а еще более старое название «инертные материалы» и вовсе ошибочно.

В природе есть и совсем не «инертные» заполнители для бетона. Установлено, что на поверхности контакта цементного камня с каменными материалами могут образоваться соединения, создающие прочное сцепление между ними.

Некоторые горные породы, вступая в химические реакции с составными частями цементного камня, могут образовать соединения, способствующие разрушению бетона; так, например, происходит, когда в породе содержится опаловидный кремнезем.

От вида заполнителей зависит важная характеристика бетона – его объемный вес. Задача уменьшения веса бетона имеет большое значение в жилищном и промышленном строительстве, а в гидротехнике и устройствах для защиты от радиоактивных излучений, наоборот, требуется наиболее тяжелый бетон. Изменить объемный вес бетона можно, применяя заполнители с различным объемным весом: для легкого бетона – пемзу, туф, керамзит, пористые шлаки; для тяжелого – магнетит, тяжелый шпат и др.

3.2.2.1 Воздушные поры – заполнитель ячеистых бетонов

Если рассмотреть снимок среза структуры ячеистого бетона, сделанный под микроскопом, можно увидеть (см. *рис.3.2.2.1-1*), что воздушные пузырьки примерно одинакового размера (показаны белым цветом) разделены прослойками цементного камня (черный цвет). И чем менее плотен ячеистый бетон, тем черного на снимке меньше. Соответственно, прочность также уменьшается. На определенном этапе воздушных пузырьков становится настолько много, что они уже начинают теснить друг друга и сливаться вместе. С этого момента прочность пенобетона начинает катастрофически падать.

В простейшем случае, все прослойки между воздушными пузырьками можно создать, ограничившись только цементом и водой. Так обычно и поступают, когда изготавливают теплоизоляционные материалы низкой плотности. И сразу же сталкиваются с усадкой, обусловленной множеством причин (подробней об этом в другой рассылке). Все проблемы усадки цементного камня можно вылечить кардинально – уменьшением количества цемента. Меньше цемента – мень-

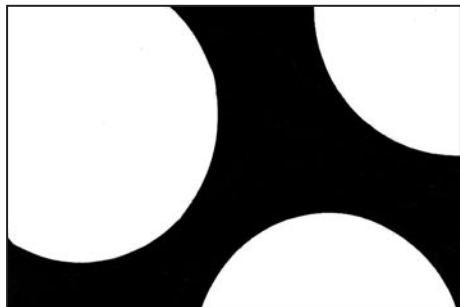


Рис. 3.2.2.1-1 Компьютерная реконструкция микрофотографии микроструктуры ячеистого бетона на чистом цементе: белый цвет – воздушные пузырьки; черный цвет – цементный клей.

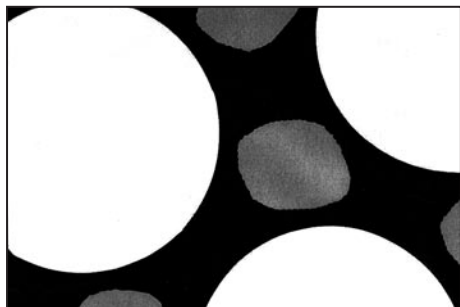


Рис. 3.2.2.1-2 Компьютерная реконструкция микрофотографии микроструктуры ячеистого бетона на цементе с заполнителем: белый цвет – воздушные пузырьки; черный цвет – цементный клей; серый цвет – инертный заполнитель.

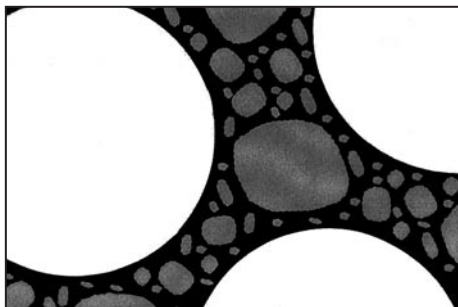


Рис. 3.2.2.1-3 Компьютерная реконструкция микрофотографии микроструктуры ячеистого бетона на цементе с заполнителем: белый цвет – воздушные пузырьки; черный цвет – цементный клей; серый цвет – инертный заполнитель.

ше проблем с его усадкой. Заменить недостающее количество цементного камня можно каким-либо заполнителем, например, песком (см. *рис. 3.2.2.1-2*).

Как видим, черного осталось еще достаточно. Хотелось бы и его по возможности заполнить. В этом нам помогут частички более мелкого заполнителя (см. *рис. 3.2.2.1-3*). Укладываясь между воздушными пузырьками и более крупными зернами, они уменьшают количество потребного цементного клея, а соответственно, еще сильнее снижают возможные усадочные явления.

3.2.2.2 Физические основы модификации заполнителей

Внимательно рассматривая *рис. 3.2.2-3*, можно заметить, что в отдельных местах песчинки почти соприкасаются – прослойка цементного теста между ними минимальна. В других местах все наоборот. А есть ли некий оптимум толщины этой прослойки? Что лучше, более тонкая или толстая прослойка?

Рассматривая проблему прочности любых бетонов – хоть тяжелых, хоть легких, хоть ячеистых, следует учитывать, что все они гораздо лучше выдерживают сжимающие усилия, чем растягивающие. Разница почти 10-кратная. Поэтому, стремясь увеличить прочность бетона вообще, главный акцент всегда делается на увеличение его сопротивляемости растягивающим усилиям. Есть целое направление в бетоноведении, рассматривающее проблему прочности бетона через призму напряженно-деформированного состояния. Исследованиями установлено, что на увеличение концентрации растягивающих напряжений в теле бетона существенно влияют два критерия: соотношение модулей упругости заполнителя и цементной матрицы и толщина прослойки цементной матрицы, разделяющей зерна заполнителя.

3.2.2.2.1 Влияние соотношения модулей упругости заполнителей и цементной матрицы на прочность бетонов

Для тяжелых бетонов соотношение модулей упругости заполнителя и матрицы (E_3/E_m) должно быть в районе 2–3. Поэтому максимальная прочность таких бетонов достижима только в случае применения прочных и плотных заполнителей типа гранитов. Если использовать не только гранитный щебень, но и отсеvy его дробления – гранитный песок вместо обычного песка, то можно получить максимально возможную прочность для этого класса бетонов.

Для легких бетонов соотношение (E_3/E_m) = 0,7–0,8. Поэтому максимально возможная прочность достижима на менее плотном заполнителе – керамзите, топливных и доменных шлаках, аглопорите, вспученном перлите и т.д.

Отдельно, как крайний случай, следует рассматривать легкие бетоны на очень легких заполнителях с соотношением (E_3/E_m) < 0,7. Дешевизна и доступность этих материалов, служат объективной предпосылкой их использования, даже в ущерб прочностным показателям. В свое время огромное распространение получили так называемые органобетоны – разновидность легких бетонов, в которых в качестве заполнителя использовались различные органические отходы – в основном древесные опилки. На местах, особенно сразу после войны, не гнушались также соломой, кострой, камышом и т.д. В настоящий момент наблюдается некий ренессанс органобетонов – их все чаще стали рассматривать как дешевую, надежную и не капризную в производстве альтернативу ячеистым бетонам. Попытки подменить копеечные органические заполнители современными материалами, более эффективными, но и более дорогими, пока не нашли должного распространения. И корни проблемы не только в их более высокой стоимости.

Типичный представитель современных легких заполнителей – вспученный пенополистирол, будучи по физической природе легким заполнителем, из-за своей очень малой плотности фактически ограничивается формированием макропустот. Никакого вклада в улучшение прочностных характеристик он практически не вносит. Для него соотношение E_3/E_m близко к нулю – это гораздо хуже, чем даже у легкого бетона на основе камыша.

3.2.2.2.2 Влияние толщины прослойки цементной матрицы, разделяющей зерна заполнителя, на прочность бетонов

При изучении напряженно-деформированного состояния на микроуровне толщину пленки цементного клея, разделяющего зерна заполнителей, варьировали в пределах 0,01–0,05 мм. Экспериментально было установлено, что начальное образование трещин в цементном камне с толщиной пленки 0,05 мм происходит при нагрузках вдвое меньших, чем при толщине 0,01 мм. Иными словами, чем тоньше прослойка, тем прочнее бетон.

Усадка чистого цементного камня при его твердении достигает 1–3 мм/м. Из-за неравномерности усадочных деформаций в теле цементного камня возникают огромные внутренние напряжения, проявляющиеся в форме трещин и микротрещин. Помимо того, что заполнитель воспринимает часть этих усадочных деформаций, его правильный подбор позволяет уменьшить и количество цемента, собственно, и порождающего усадочные явления.

На этих простых выводах и строится вся стратегия подбора заполнителей для бетона – скомпоновать их таким образом, чтобы обеспечить минимально возможную пустотность, а соответственно, израсходовать минимальное количество цементного клея. Если учесть, что эти устремления созвучны и с критериями экономического порядка, становится понятно, почему гранулометрии заполнителей бетоноведение уделяет столь пристальное внимание, рассматривая ее как один из фундаментальнейших постулатов.

3.2.2.3 Физические основы формирования пустотности цементной матрицы

Если зерна заполнителя имеют примерно одинаковые геометрические размеры, то объем образующихся пустот не зависит от абсолютного размера зерен. Хотя крупные зерна укладывая, хоть мелкие – если все они одинакового размера, пустотность тоже будет примерно равной. Это правило имеет строгое математическое объяснение, с которым можно детально ознакомиться в специализированной литературе.

Исходя, опять же, из голы математики, если мы смешиваем зерна двух фракций, наименьшую пустотность можно получить, когда размеры фракций различаются в 6,5 раз. При изготовлении сухих строительных смесей так и делают: песок рассеивают на несколько фракций, а затем их снова смешивают в определенной пропорции. Подобная модификация заполнителей дорога и хлопотна, ее уместно проводить только в исключительных случаях.

В производственной практике наибольшее распространение получили заполнители с так называемым непрерывным зерновым составом (природные пески – типичный их представитель). В обобщенном виде соотношение зерен разных фракций описывается показателем, называемым модуль крупности – Мкр. Любая строительная лаборатория в течение нескольких часов способна определить Мкр и дать соответствующее заключение о пригодности данного песка для тех или иных работ. Обычно природные пески относятся к категории мелких, для производства тяжелых бетонов их приходится искусственно обогащать, добавляя более крупные зерна.

Многие страны имеют мелкие пески, которые приходится обогащать для нужд производства тяжелых бетонов (Украина например). Для ячеистых бетонов, а особенно для пенобетонов, ситуация с грамотным подбором гранулометрии заполнителей на порядок сложнее общепринятой методологии.

Если принять воздушные пузырьки диаметром около 1 мм за самую крупную фракцию, элементарный расчет показывает, что следующая фракция должна быть в пределах 0,15 мм, а еще более мелкая – 0,02 мм.

3.2.2.4 Вредные примеси в песке

Обыкновенный песок скрывает в себе множество секретов. И главные из них (после оптимизации гранулометрии, конечно), – вредные примеси и их влияние на бетон. Это утверждение имеет особое значение для пенобетонов – на плохом песке получить качественную продукцию невозможно в принципе.

Очень важно, чтобы в песке отсутствовали органические примеси, особенно гуминовые кислоты. Они являются сильными замедлителями схватывания и твердения цемента. Как уберечься от этой напасти? Единственным способом – не использовать песок, загрязненный грунтом или грунтовыми водами; если вам привезли песок вперемешку со вскрышным грунтом, для производства пенобетона он не годится.

Все природные пески загрязнены примесями ультрамелких частиц – пылевидных, илистых или глинистых. Карьерный песок, кроме всего прочего, обязательно имеет в своем составе и включения глины (так называемая «глина в комках»). Производственники часто закрывают глаза на эти примеси – дескать, их всего-то несколько процентов. Тем не менее ультрамелкие глинистые частицы способны даже в малых количествах значительно снизить прочность изделий.

Если взять одинаковый объем заполнителей различных фракций, скажем, 1 литр, и измерить их удельную поверхность, то увидим, что чем меньше частицы, тем их удельная поверхность выше (см. *таблицу 3.2.2.4-1*). Для глинистых частиц она уже практически приближается к аналогичным показателям цемента.

Если учесть, что по условиям обеспечения максимальной прочности каждая частичка заполнителя должна быть покрыта оболочкой цементного клея, получается, что на обволакивание ультрамелких частиц потребуется гораздо больше

Фракция заполнителя	Удельная поверхность, м ² /л абсолютного объема
0.6–0.3 мм	13
0.3–0.15 мм	27
Менее 0.15 мм	80
Пылевидные частицы	160
Илистые частицы	220
Глинистые частицы	2400
Цемент (для сравнения)	3000

Таблица 3.2.2.4-1

цемента, чем на крупные, занимающие аналогичный объем. Всего несколько процентов глины в песке требуют на свое склеивание столько же цемента, сколько и весь оставшийся песок!

Кроме того, глинистые примеси существуют и в форме тончайших пленок, обволакивающих зерна песка. Такая прослойка существенно, на 30–50 %, снижает прочность сцепления (адгезию) заполнителей с цементным камнем.

Кроме того, иногда в песке присутствуют и иные вредные примеси – сернистые и сернокислые соединения, слюда, аморфные модификации кремнезема. Последние вообще очень опасны для пенобетонов, так как они способны вступать в прямую химическую реакцию с щелочами и образовывать вещества, вызывающие растрескивание цементной матрицы. Ситуацию усугубляет и то, что именно пенобетонная технология по самой своей сути способствует привнесению щелочей извне – с тонкомолотыми высокомарочными цементами, пенообразователями, ускорителями и пластификаторами.

3.2.2.5 Изменение насыпной плотности песка от влажности

В промышленном производстве строительных изделий практически всегда используется весовое дозирование компонентов. Пенобетонщики, особенно начинающие, в целях удешевления и упрощения процесса производства, как правило, применяют объемное дозирование. Единицей меры в лучшем случае выступает ведро, а обычно – совковая лопата. Рабочий забрасывает в смеситель положенное число лопат песка, несколько ведер цемента – на этом стадия дозирования считается законченной. За ней обычно наступает стадия совершенно непонятных проблем со «скачущими» характеристиками получаемой продукции. Винят плохой цемент, отвратительный пенообразователь, неподходящую воду и т. д. Хотя зачастую первопричина лежит именно в неправильном подходе к дозированию компонентов.

Песок имеет аномальную зависимость плотности от влажности. Пик аномалии находится на уровне 5–7 % влажности. Этой влажности обычно соответствует свежесотгуженный песок так называемой «карьерной влажности». В процессе хранения возможно как высушивание, так и увлажнение песка. Насыпная плотность его при этом изменяется в соответствии с графиком (см. *рис. 3.2.2.5-1*).

Степень важности правильного понимания этого незатейливого (но с подводом) графика проиллюстрирую простым примером, взятым из жизни.

Итак, была принята следующая базовая рецептура приготовления пенобетона:

- цемента – 350 кг
- песка – 420 кг

(остальные ингредиенты умышленно упущены).

Изменение объема,

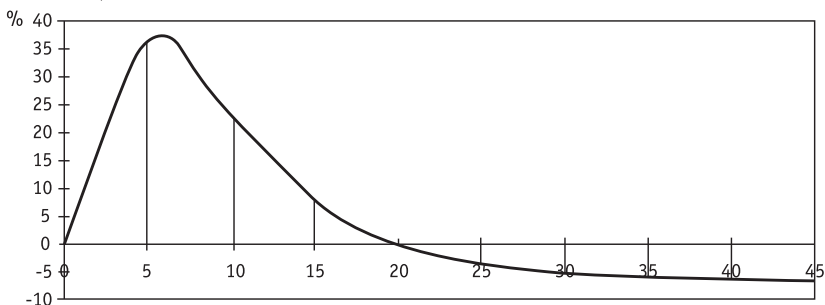


Рис. 3.2.2.5-1 Изменение объема песка в зависимости от его влажности.

Запуск производства и отработка технологического регламента проводились летом. Песок использовался карьерный, привезенный самосвалом. Полученные результаты производителя удовлетворили, он принял данную рецептуру как базовую и успешно отработал на ней все лето. В процессе работы техпроцесс был модифицирован в сторону упрощения: обременительное и хлопотное весовое дозирование заменили на простое, «доходчивое» и понятное рабочим объемное дозирование — ведрами.

С похолоданием основное производство было приостановлено. Но, пользуясь тем, что зимой машина песка стоит гораздо дешевле, чем летом, песок при каждом удобном случае продолжали завозить. Пока в цехе было место, его сваливали туда, потом стали выгружать на улице, под открытым небом. С потеплением начали запускать производство, однако прошлогоднего качества получить, никак не удавалось. Грешили на что угодно: на цемент, пенообразователь, плохой ускоритель, сильно хлорированную воду, пьяных рабочих, мокрый песок (с улицы), сухой песок (из цеха), происки конкурентов и т. д.

А ларчик просто открывался. При отработке регламента использовался песок карьерной влажности. Летом она как раз и составляет примерно 5–7% — на пике кривой (см. рис. 3.2.5-1). Переход на объемное дозирование никак не сказался на рецептуре, пока использовали последние партии песка. Но когда стали применять заранее заготовленный, объемное дозирование уже не стало соответствовать весовому! В помещении песок подсох, на улице — подмок. И в том, и в другом случае его насыпная плотность значительно изменилась, что и явилось первопричиной появления брака.

Контрольное взвешивание показало, что в связи с изменением влажности песка его объемное дозирование в реальности давало следующие цифры:

- цемента — 350 кг
- песка — 505 кг.

3.2.2.6 Методы модификации заполнителей

При всей кажущейся простоте вопроса, именно из-за его вроде бы малозначимости, модификация заполнителей обычно рассматривается пенобетонщиками в последнюю очередь. Хотя при грамотном подходе можно получить эффект намного больший, чем от любых упражнений в химии-алхимии. Причем гораздо дешевле и наверняка!

3.2.2.6.1 Модификация песка рассевом на фракции

Это, наверное, самое плохое решение применительно к технологии производства пенобетона. Традиционно рассев песка на фракции применяется в технологии тяжелых бетонов и растворов для вычленения излишка мелкой фракции и глинистых частиц. В нашем случае, наоборот, требуется вычленить крупную фракцию – все, что крупнее 0,15 мм, желательно убрать, а оставшееся тоже рассеять и заново смешать в нужных пропорциях. Подобными манипуляциями нужная нам мелкая фракция настолько «обогатится» глинистыми частицами, что заполнитель станет абсолютно непригоден для пенобетона. Кроме того, любой рассев заведомо предполагает, что песок предварительно будет высушен (иначе просто не сеется), а это дополнительные энергозатраты.

3.2.2.6.2 Модификация песка гидроклассификацией

Песок можно разделить на фракции и путем гидравлической классификации. Этот способ обычно применяется как сопутствующий при гидроклассификации песчано-гравийных смесей. В качестве самостоятельного метода его следует при малейшей технической возможности применять для удаления из карьерного песка ультрамелких частиц – илистых и глинистых. Промытые речные пески за счет малого количества в них ультрамелкого наполнителя способствуют значительному увеличению прочности тяжелых бетонов. В пенобетонах они позволяют снизить расход цемента и уменьшить усадочные явления.

3.2.2.6.3 Модификация песка измельчением

Если песок измельчить в шаровых или вибромельницах, его характеристики многократно улучшатся. Размол крупных фракций уменьшает процентное содержание в массе ультрамелких и глинистых частиц. Кроме того, в процессе помола зерна песка очищаются от загрязняющих окисных и глинистых пленок – он становится более реакционноспособным. Совместный помол с вяжущим облегчает домол последнего. В этом случае зерна цемента выполняют также и функции мелющего тела. Совместный помол гомогенизирует смесь, а в отдельных случаях и способствует протеканию гидросиликатного твердения даже при атмосферных условиях за счет механохимической активации продуктов помола.

Этот способ нашел наибольшее применение в промышленных условиях.

3.2.2.6.4 Модификация песка обогащением мелкой фракцией

Из всех способов этот наиболее прост и дешев. Его суть заключается в том, чтобы обогатить песок фракциями менее 0,1 мм, но при этом это не должно быть глинистых частиц. Для этих целей наиболее подходит зола-унос тепловых электростанций. Она состоит в основном из фракций размерностью 0,06–0,02 мм, очень дешева и к тому же обладает некоторыми вяжущими свойствами. Основной недостаток золы – наличие пережженных окисей кальция и магния. Они очень медленно гасятся, как правило, будучи уже в составе изделия: пенобетон «пучит», через некоторое время он буквально рассыпается в пыль. Поэтому перед применением свежей золе-уносу нужно обязательно дать несколько месяцев выležаться во влажном состоянии.

Если поблизости нет тепловой электростанции и вы не знаете, где эту золу взять, смело отправляйтесь на ближайший асфальтовый завод – ее повсеместно добавляют в асфальт.

3.2.2.6.5 Химические способы модификации мелкого заполнителя

Этот способ самый экзотический и самый «засекреченный». Он передается от отца к сыну вот уже лет 80, с момента начала производства пенобетона. Его суть, с химической точки зрения, очень проста, а натурная реализация элементарна, поэтому остановлюсь на этом способе подробней.

В гравитационный смеситель (вращающаяся груша) засыпается песок. Ось вращения смесителя устанавливается горизонтально, с небольшим возвышением. В горловину постоянно направлена струя воды из шланга.

В процессе вращения смесителя песок постоянно перемешивается и хорошо промывается от ультрамелких включений, а излишки воды перетекают через край горловины и отводятся в сторону по специальному водоотводящему желобу. Окончание промывки хорошо заметно – вода пойдет чистая.

Небольшим наклоном груши смесителя излишки воды сливают, и здесь начинается таинство. В смеситель добавляют несколько кружек некоей таинственной жидкости, и перемешивание возобновляется. Спустя какое-то время туда же засыпается некоторое количество золы-уноса. Потом перемешивание прекращается и полученная шихта вываливается. Все.

Что это за таинственная жидкость? Обыкновенная соляная кислота, которая продается в хозяйственных магазинах как средство для чистки унитазов. Зачем она нужна? А вот в этом-то и весь фокус.

Помимо глины, имеющейся в песке в свободном состоянии, которую можно удалить отмачиванием в водном потоке, не меньший вред приносят глина и окисные пленки, покрывающие зерна песка. Тончайшая пленка изолирует окись кремния, из которой состоит песок, препятствуя его сцеплению с цементным камнем. Ее удаление чуть ли не вполнину увеличивает силы этого сцеп-

ления, а следовательно, и прочность. Соляная кислота как раз и способствует растворению этих пленок.

Известь получают из известняка или мела в процессе обжига при температуре 700–800 °С. Если температура в печи будет больше, получается «пережог». Если обычная известь гасится в течение нескольких минут, то у «пережога» этот процесс растягивается на месяцы. И если крупинка такой пережженной извести попадет в составе штукатурки на стену, через несколько месяцев в этом месте вы получите так называемый «дутик», а штукатурки – крупные неприятности.

Сгорающее в печи топливо развивает гораздо более высокие температуры. Находящаяся в золе-уносе известь вся пережженная! Попадая в состав пенобетона, миллионы таких «дутиков» разорвут его в порошок. Значит нужно, чтобы содержащаяся в золе-уносе пережженная известь погасилась до ее попадания в состав пенобетона. Простейший способ – увлажнить ее и оставить на несколько месяцев в покое. Но можно поступить хитрее. Пусть эту известь погасит соляная кислота – у нее это получится гораздо быстрее и лучше, чем у простой воды. К тому же в результате подобной химической реакции образуется хлористый кальций – самый эффективный ускоритель схватывания и твердения цемента!

Остатки кислоты, на нейтрализацию которой не хватило известняковых примесей в песке и извести в золе-уносе, пусть остаются. В составе песчано-зольной шихты они вступят в реакцию с цементом – опять же, с образованием хлористого кальция! Причем эффективность такого «свежеобразованного» хлористого кальция гораздо выше обычного. В этом случае он способен на более жесткое воздействие на кинетику схватывания и набора прочности цементом. Для традиционного тяжелого бетона подобная «крутизна» избыточна и даже вредна, а вот для пенобетонов – в самый раз.

(Химико-технологические и рецептурные расчеты данного процесса, а также конфликт между кислыми ускорителями и пенообразователями, стабилизируемыми природными коллагенами и жирными кислотами, будут рассмотрены позднее.)

3.2.2.7 Модификация заполнителей по правилу ТРИЗ

В теории изобретательства существует так называемая ТРИЗ (Теория Решения Изобретательских Задач). Один из способов решения проблемы заполнителей, подсказанный ТРИЗ, гласит: «Убери проблему вообще, и тогда она не будет тебе мешать».

Но для начала давайте определимся, какая проблема в модификации заполнителей у нас имеется?

Самая главная – сами эти самые заполнители. Вот если бы можно было без них обойтись, но в то же время «что-то» исполнило главную их функцию – сэкономило цементный клей.

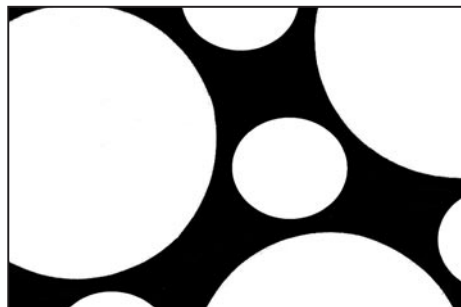


Рис. 3.2.2.7-1 Микрофотография микроструктуры ячеистого пеногазобетона: белый цвет – воздушные пузырьки; крупные пузырьки – от алюминиевой пудры; мелкие пузырьки – от пенообразователя; черный цвет – цементный клей.

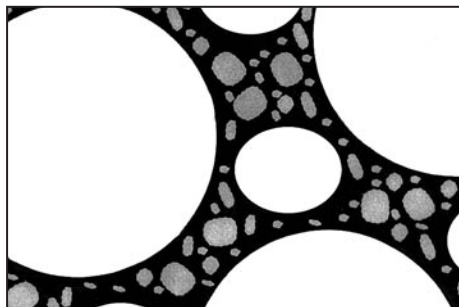


Рис. 3.2.2.7-2 Микрофотография микроструктуры ячеистого пеногазозолобетона: белый цвет – воздушные пузырьки; крупные пузырьки – от алюминиевой пудры; мелкие пузырьки – от пенообразователя; черный цвет – цементный клей; серый цвет – инертный заполнитель – зола-унос.

Ну так пусть воздушный пузырек и исполнит роль заполнителя! Заодно и плотность пенобетона снизим.

А как получить пузырьки разных размеров? – ведь в пене они стремятся уравниваться, таковы физические законы.

Чтобы получить поры разного размера, механизм их образования должен быть разным, к тому же разнесенным во времени. Реализовать это можно в пеногазобетонах. Малые поры образуются в процессе перемешивания цементного раствора в присутствии пенообразователя за счет воздухоовлечения, а большие – в процессе газовыделения от находящейся в растворе алюминиевой пудры (см. рис. 3.2.2.7-1).

Остается последний вопрос: как разнести процесс пенообразования и газообразования во времени? Оригинальное решение было найдено еще в 60-х годах прошлого века. Оно обыгрывает тот факт, что алюминиевая пудра выделяет водород, формирующий крупные поры; правда, хоть и много (из 1 гр. пудры получается примерно 1.2 литра водорода), но уж очень медленно – около часа. Это серьезно осложняет производство газосиликатов – приходится долго ждать, пока смесь поднимется.

Ученые и тут обратили минус в плюс. Пусть, рассудили они, в один смеситель сразу загружаются цемент, вода, пенообразователь и алюминиевая пудра. В процессе скоростного перемешивания смесь будет насыщаться микропузырьками вовлеченного воздуха, а алюминиевая пудра, за счет своей «медлительности», еще даже и не подумает вступать в реакцию. После разлива поризованной смеси по формам она подвергается интенсивной вибрации. Вибрация мгновенно

«пробуждает» алюминиевую пудру, и выделяющийся водород насыщает массу теперь уже крупными пузырьками.

Полученный строительный материал получил название «вибровспученный пеногазозобетон».

Как частный случай, полностью подтверждающий справедливость приведенных выше рассуждений, следует рассматривать пенополистирол-бетон. Являясь по своей физической сути легким бетоном (вспученный пенополистирол в нем выполняет функции легкого заполнителя), по теплофизическим характеристикам он примерно соответствует ячеистым бетонам аналогичной плотности. Но его прочностные характеристики и особенно стойкость к трещинам намного лучше. В первую очередь потому, что в нем реализована дву模альная пористость: крупные поры формируют шарики вспененного полистирола, а мелкие – микропена от введенного пенообразователя. И правильной его следовало бы называть поризованным пенополистирол-бетоном. Путаницу усугубляет и терминологическая неразбериха – добавки ПАВ, которые почему-то вместо традиционного и понятного названия пенообразователь, получили торговое название адгезивы. Хотя подобный способ облегчения вымешивания легкого заполнителя за счет понижения плотности бетонной матрицы путем микропенообразования в присутствии ПАВ давно и успешно используется в других технологиях легких бетонов, в частности, в керамзитобетоне.

3.2.3 Модификация соотношения вода/цемент (В/Ц)

Анализ «строительного Интернета» позволяет достаточно легко выявить наиболее модные темы обсуждений. Различные сайты специализируются на разных направлениях, а представляя тот или иной «дом моделей», в меру своих сил и способностей направленно формируют структуру интересов посетителей. Ни для кого не секрет, что практически все сетевые ресурсы реализуют или сопровождают определенные коммерческие проекты.

Стало уже доброй традицией на каждом таком сайте иметь свой форум. Как способ информационной поддержки сложных либо узкоспециализированных тем, коими изобилуют строительные направления, их рассматривать, конечно, нельзя. И в первую очередь из-за ограниченности формата; скорее это некая трибуна, место обмена мнениями и информацией оперативного характера.

Если активность форума не формируется искусственно, он очень результативно отслеживается практически всеми поисковиками, основными поставщиками новых посетителей на сайт. Нужно только, чтобы темы обсуждений, а соответственно, и присутствующие в них ключевые слова – объект предполагаемого поиска, как можно точнее соответствовали структуре интересов

и запросов потенциальных посетителей. (Утверждение обратного – от лукавого; нужно быть законченным глупцом либо патологическим лентяем, чтобы не использовать такой действенный механизм привлечения новых посетителей на свой сайт.)

Если внимательно присмотреться к строительным форумам с позиции количества в их сообщениях ключевых слов, таковых окажется не так уж и много – пара-тройка десятков. Еще более внимательный анализ покажет – наличие именно этих слов-лексем в сообщениях и обеспечивает степень демократичности форума. Модератор порой согласен даже закрыть глаза на явные рекламные ушки, торчащие из отдельных сообщений, пока их информационная наполненность отрабатывает общую идею. А уж если это «дружественные ушки» зайца, кормящегося с соседней грядки, тут, как говорится, сам Бог велел. (Особняком стоит ситуация с залетными зайцами-мутантами: пока они смачно хрумкают чужую морковку, сторожа тоже не внакладе – продают билеты всей округе, сбежавшейся поглядеть на цирк.)

А если пойти от обратного – какая тема наименее освещена в строительном Интернете? И почему?

Такой информационной золушкой по праву можно назвать тему водо-цементного соотношения – сокращенно В/Ц. Этот фундаментальный, основополагающий постулат бетоноведения в том или ином приложении справедлив для любых минеральных вяжущих. Его грамотная реализация способна творить чудеса. Для успешной натурной реализации достаточно всего лишь ЗНАНИЯ и его неукоснительного соблюдения исполнителем. Но водо-цементное соотношение нельзя продать. Соответственно, с позиции продавца, обсуждать его, популяризировать либо просто разъяснять суть явления – бессмысленная трата средств и времени.

На другом полюсе популярности в обсуждениях – тема пластификаторов. Их «раскрутке», продвижению и продаже в той или иной степени уделяют внимание все, даже ленивые. Нет ни одного строительного сайта, где бы не нашлось упоминания о них. А задавать поисковику в качестве объекта поиска лексему «пластификатор» просто бессмысленно – завалит тысячами ссылок. И если вы станете руководствоваться этими ссылками, сути проблемы (а для чего, собственно, эти пластификаторы нужны?) так и не уясните.

Между тем, эти две темы – «оптимизация В/Ц» и «пластификаторы» – близнецы-братья, неразрывно связанные друг с другом. Но если оптимизация В/Ц описывает суть происходящих явлений, то пластификаторы помогают эту оптимизацию реализовать в натурном воплощении без лишних хлопот.

И если водо-цементное соотношение продавать бессмысленно, то способы его оптимизации – очень даже ходовой товар. Попробую вас в этом убедить.

3.2.3.1 Вода и ее виды в бетонной смеси

Вода является одним из обязательных компонентов бетонной смеси, важнейшим фактором, определяющим ее технологические свойства. Проследим, как вода распределяется и используется в смеси и каково ее влияние на качество раствора при постепенном увеличении ее содержания.

Вода, содержащаяся в бетонном растворе, может быть:

- в связанном состоянии, когда она находится во взаимодействии с твердыми частицами смеси и удерживается в ней силами, превышающими силу тяжести;
- в свободном состоянии, когда она заполняет крупные пустоты цементного камня, легко в них передвигается и столь же легко может быть удалена из них механическим путем – отжатием, центрифугированием, вибрированием, прессованием, вакуумированием и т. д.

К связанной воде относятся:

- а) химически связанная вода;
- б) адсорбционно связанная вода;
- в) капиллярно связанная вода.

Химическое связывание воды происходит в результате реакций с участием минералов в составе цементного клинкера. Ее количество определяют стехиометрические соотношения в таких соединениях, как $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ и различных кристаллогидратах, составляющих основу цементного клинкера. Эта вода нас пока не интересует (во всяком случае, в рамках темы именно этой главы).

Адсорбционно-связанная вода – это тонкие, молекулярной толщины, и окружающие их более толстые, порядка 0,1 микрона, водяные пленки, покрывающие все твердые компоненты бетонной смеси. В таких тонких слоях вода уже изменяется – значительно повышается ее плотность и структурная вязкость. С физической точки зрения, в таких тонких пленках воду следует уже рассматривать не как жидкость, а как твердое тело.

Количество воды, затрачиваемое на образование слоя адсорбционно-связанной воды наибольшей толщины, определяет максимальную влагоемкость твердых компонентов бетонной смеси. А ее величина непосредственно зависит от удельной поверхности твердых частиц. В бетонной смеси наибольшее значение имеет влагоемкость вяжущего вещества – цемента, и других мелкозернистых добавок, обладающих наибольшей удельной поверхностью – глинистые и илистые включения в заполнители.

Капиллярно связанная вода находится под действием капиллярных сил, развивающихся в результате поверхностного натяжения, возникающего на границе двух сред. В узких капиллярах цементного камня диаметром менее

40 микрон, вода удерживается исключительно капиллярными силами. Чем меньше диаметр капилляра, тем эти силы больше. Соответственно, больше и давление (до 200 атм), преодолевая которое влага стремится заполнить эти капилляры. (В этой связи становится понятно, что любые обмазочные гидроизоляции бетонов не способны в полной мере бороться с капиллярным водоподсосом – с усилием в несколько сот атмосфер, с которым вода стремится проникнуть в бетон, можно бороться только тем же «капиллярным оружием».)

Кроме того, сквозные капилляры диаметром менее 0.2 микрона могут самопроизвольно заполняться водой в процессе сорбции и конденсации в них водяных паров уже на стадии эксплуатации. Чем меньше диаметр пор, тем этот процесс идет легче. Но и удаление такой капиллярной влаги происходит аналогично: чем тоньше поры, тем сложнее из них эту влагу извлечь.

3.2.3.2 Механизм обводнения бетонной смеси

Образование менисков воды в местах контактов твердых компонентов бетона (обводнение поверхности межзерновых пространств) и заполнение ею узких капилляров происходит в тот период, когда воды в системе еще недостаточно, чтобы она смогла заполнить все пустоты и более крупные капилляры и поры в системе. При влажности бетонной смеси, обеспечивающей возможность полного обводнения поверхности всех твердых частиц и образования контактных менисков, смесь обладает минимальной подвижностью, однако достаточной для того, чтобы при соответствующей работе уплотнения обеспечить плотную укладку бетона.

Следует учесть, что количественное распределение связанной воды, имеющейся в бетонной смеси, меняется во времени с развитием процессов химического взаимодействия, с внутренним отсосом воды в поры заполнителей, а также в зависимости от изменения состояния влажности бетона и окружающей среды.

По мере увеличения количества свободной воды в системе уменьшается вязкость цементного теста и увеличивается подвижность бетонной смеси. Однако повышение подвижности смеси одним лишь увеличением содержания в ней воды при неизменности составляющих материалов и их соотношения может нарушить связность, вызвать отделение воды и расслоение смеси. Пределом допустимого состояния для каждой бетонной смеси является наибольшая подвижность, при которой еще сохраняется способность смеси удерживать содержащуюся в ней воду. Этот предел, называемый водоудерживающей способностью бетонной смеси, в значительной степени зависит от водоудерживающей способности вяжущего вещества и других мелкозернистых тестообразующих компонентов в бетоне.

С увеличением содержания воды в смеси сверх этого предела тесто быстро теряет свойства упруго-пластично-вязкой массы. При этом вязкость теста настолько уменьшается, что приготовленная смесь сразу же после перемешивания

начинает расслаиваться, а частицы твердых компонентов оседают со скоростью, зависящей от крупности и удельного веса составляющих. Вода будет отделяться до тех пор, пока в смеси не установится содержание воды, соответствующее ее водоудерживающей способности. Отделившаяся вода как наиболее легкий компонент в бетоне поднимается вверх, размещается на верхней поверхности уложенной бетонной смеси и, насыщая этот слой, делает его наиболее рыхлым и слабым местом в конструкции.

Процесс видимого водоотделения и расслаивания переходит в более длительный по времени и незаметный для глаза процесс оседания частиц песка и подвижной цементноводной суспензии, происходящий в пространствах между зернами крупного заполнителя (явление седиментации), который сопровождается внутренним расслоением. Процесс седиментации продолжается до полного загустевания (схватывания) смеси.

Критическое содержание воды в тесте, сверх которого теряется связность смеси и отделяется избыточная вода, зависит от многих физических факторов, характеризующих данное вяжущее вещество и микрозаполнители. Наиболее важное из них – водопотребность.

Водопотребность портландцементов редко превышает 28% (чем меньше, тем лучше). Именно такое количество воды цемент способен связать в результате реакций и перевести в химически связанную воду.

Водопотребность портландцементов – показатель, формируемый в процессе их изготовления. Она очень сильно зависит и от минералогической базы, на которой работает тот или иной завод, и от степени измельчения цемента, и от количества активных минеральных добавок, вводимых в процессе помола.

Вся вода, введенная сверх этого количества, – вредная вода. Она сформирует в теле цементного камня поры и капилляры.

Хоть от самой воды, хоть от места, которое она ранее занимала, а затем испарилась, цементному камню прочности никак не прибавляется. А вот в капиллярные ходы, оставленные лишней водой, впоследствии, уже на стадии эксплуатации, начнет проникать капиллярная влага. Бетон станет периодически увлажняться/высыхать или увлажняться/замерзать – станут развиваться усадочные явления и снизится морозостойкость. Кроме того, влага, имеющая возможность двигаться в толще цементного камня, способна выносить из него и отдельные водорастворимые соединения – произойдет т.н. коррозия цементного камня.

3.2.3.3 Внутреннее водоотделение в твердеющем цементном камне

При нормальной густоте портландцемента, соответствующей водопотребности в 28% ($V/C=0.28$), предельное содержание воды, при котором цементное тесто еще сохраняет свою структурную связность или водоудерживающую способность, составляет примерно 45% от веса цемента ($V/C=0.45$), то есть

для клинкерных портландцементов водоудерживающая способность примерно в 1,45 раза выше их реальной водопотребности.

Это объясняет, почему какая-либо оптимизация В/Ц, основанная на визуализации, ошибочна. Если вы только заметили, что бетонная смесь отделяет воду, значит, ее здесь УЖЕ больше нужного в полтора раза!

Но даже если содержание воды в смеси еще не вышло за пределы ее водоудерживающей способности, происходит внутреннее водоотделение и седиментация. За счет естественного сближения заполнителей под воздействием силы тяжести, с одной стороны, наблюдается положительный эффект – уплотнение заполнителей. Но с другой – высвобождающаяся вода стремится куда-то деться. Если позволяют условия, она устремляется вверх (вода легче всех остальных компонентов бетона, поэтому, в соответствии с законом Архимеда, всплывает), оставляя за собой микроканал капиллярной размерности. Под частицами заполнителя вода может задерживаться и скапливаться, образуя водные полости, из которых впоследствии образуются воздушные поры. Такие прослойки уменьшают площадь контакта цементного камня с заполнителем и ослабляют их взаимное сцепление. Эти же капиллярные ходы и полости, сообщаясь между собой, служат путями фильтрации воды сквозь бетон, другими словами, способствуют повышению его водопроницаемости. Таким образом, из-за передвижения воды в бетонной смеси в период, предшествующий схватыванию, происходит неравномерное распределение ее в смеси, образование значительного количества капиллярных ходов и сообщающихся каналов. В этом заключается главная отрицательная роль избыточного содержания воды в смеси и связанных с этим процессов внутреннего водоотделения.

3.2.3.4 Влияние отдельных факторов на прочность бетонов

В бетоноведении существует множество математических моделей, увязывающих марочную прочность бетонов с различными внешними факторами – маркой цемента, характеристиками заполнителей, рецептурами бетонов, условиями их приготовления и вызревания и т.д. Но в каждой этой модели обязательно присутствует зависимость, описывающая прочность бетона от принятого В/Ц и степени гидратации цемента.

Если абстрагироваться от изменчивости внешних факторов, все эти математические модели в качестве регулируемых непосредственно изготовителем бетона параметров рассматривают, по сути, тоже только две переменные – степень гидратации цемента и водоцементное соотношение. Причем степень гидратации всегда стоит в числителе, а В/Ц – в знаменателе. В упрощенном виде подобную зависимость отражает формула:

$$R_{28} = K \cdot (\alpha / \beta)$$

где:

K – комплексная константа, описывающая количественные и физические характеристики примененных материалов (гранулометрия и количество заполнителей, марочность и дозировка цемента и т.д.);

α – комплексная переменная, описывающая степень гидратации цемента;

β – комплексная переменная, описывающая принятое В/Ц

Иными словами, меняя переменные, можно влиять на конечную прочность бетона при неизменных константах. Чем выше степень гидратации цемента и ниже водоцементное соотношение, тем более прочный бетон можно получить из тех же исходных материалов и при неизменном их соотношении.

3.2.3.5 Физическая сущность понятия «степень гидратации цемента»

В результате обобщения многочисленных данных о твердении бетонов в естественных условиях, получены следующие ориентировочные коэффициенты, характеризующие прочность в разные сроки твердения по сравнению с прочностью через 28 суток: (см. *таблицу 3.2.3.5-1*).

Такой рост прочности характеризуется зависимостью, близкой к логарифмической.

Уместен вопрос: а откуда возникает прирост прочности даже через годы, после приготовления и укладки бетона? Что его обеспечивает? И нельзя ли такую прочность, которая через несколько лет, возможно, станет даже излишней, попытаться получить сразу, уже сейчас – и тем самым сэкономить цемент?

При соприкосновении с влагой в цементе начинаются определенные химические реакции – он начинает гидратировать. Продукты гидратации отделяются в раствор и становятся тем клеем, который и соединяет все воедино.

Гидратация идет направленно – от края цементного зерна к его центру. На определенном этапе каждое зерно цемента покрывается коркой гидратных

3 суток	0.35
7 суток	0.65
28 суток	1.0
90 суток	1.25
180 суток	1.4
1 год	1.5
3-5 лет	1.7–1.8
10 лет	1.9
15-25 лет	2.0–2.25

Таблица 3.2.3.5-1

новообразований. Эта корка достаточно плотная. Она препятствует проникновению влаги вглубь зерна цемента, и вступлению в реакцию с водой глубинных его слоев. Получается, что часть цемента описанным выше процессом как бы выключается из формирования цементного клея. Эти не прореагировавшие зерна цемента остаются в бетоне уже не в качестве вяжущего, а как микронаполнитель. Их так и называли – микробетон.

В результате получается, что в каждой бетонной конструкции значительная часть цемента попросту законсервирована. По мере проникновения атмосферной влаги все новые и новые порции цементного клея выделяются в бетон – это и обеспечивает последующий набор прочности.

Практически всегда прочность бетона оценивается по его марочной прочности – через 28 суток. В соответствии с полученными показателями именно по истечении этого срока и нормируются его эксплуатационные показатели. Конечно, через какое-то время бетон станет намного прочнее, но воспринимать запроектированное эксплуатационное нагружение он должен уже сразу.

Весьма заманчиво тот запас потенциальной «законсервированной» прочности, который реализуется через несколько лет, попытаться получить сразу – в эти 28 суток. Насколько это удастся, и характеризует показатель степени гидратации цемента.

3.2.3.6 Физическая сущность понятия «В/Ц»

Взаимодействие портландцемента с водой приводит к образованию новых веществ, которые и обуславливают схватывание и твердение цементного теста, растворной или бетонной смеси. Состав новообразований зависит как от химического и минералогического состава цементов, так и от ряда внешних факторов. В первую очередь – от соотношения участвующих в реакции веществ и условий ее протекания (температура, влажность, давление).

Со стороны инициатора начала реакции один представитель – вода. А вот другую сторону представляет целый комплекс химических соединений, в обобщенном виде называемый клинкерной частью цемента. Его примерный состав следующий (%): (см. *таблицу 3.2.3.6-1*).

Даже простое перечисление самых значимых составляющих цемента не является побудительным мотивом к более глубокому проникновению в суть явлений, которые начинаются при их соединении с водой. Тем более что у меня самого имеется стойкая убежденность, что несколько сот страниц зубодробительного описания, как все ЭТО реагирует с водой и между собой, хоть кто-то толком знает и понимает. Во всяком случае, теоретических моделей, описывающих суть происходящего, несколько. Они последовательно развиваются во времени и являются предметом непрерывных дискуссий в среде академической бетоноведческой профессуры. Исходя из принципа разумной достаточности, ограничусь в описании этих процессов всего парой абзацев.

Алит (C_3S)	45–60
Белит (C_2S)	10–30
Трехкальциевый алюминат (C_3A)	5–12
Алюмоферит (C_4AF)	10–20
Стекловидная фаза	5–15
Окиси кальция и магния ($CaO + MgO$)	1–5
Свободные щелочи ($Na_2O + K_2O$)	до 1

Таблица 3.2.3.6-1

В начальный период формирования структуры цементного камня цементное тесто представляет собой концентрированную суспензию (пасту). Она состоит из цементных зерен, окруженных водой затворения. Чем больше начальное водо-цементное соотношение, тем, при равных условиях, толще водные прослойки, окружающие цементные зерна. Вода затворения в цементном тесте образует систему взаимосвязанных капиллярных пор, беспорядочно распределенных по всему объему цементного камня.

В результате гидратации цемента образуются новые соединения – гидратные новообразования. Их объем примерно в 2,2 раза больше абсолютного объема негидратировавшего цемента. Участвуя в химической реакции, вода расходуется на гидратацию цемента, а высвободившееся место заполняют образующиеся гидратные новообразования – идет встречный процесс. Начиная с определенных соотношений ($V/C > 0,22–0,28$), цемента уже не хватает на полное химическое связывание воды – она остается в толще цементного камня и формирует его микропористость.

При дальнейшем увеличении водо-цементного соотношения ($V/C > 0,65$) оставшиеся микропоры и капилляры уже настолько протяженны и разветвлены, что становятся сообщающимися между собой. Цементный камень с таким строением порового пространства характеризуется не только низкой прочностью (см. рис. 3.2.3.6-1), но также высокой водопроницаемостью и плохой морозостойкостью.

Подытожим:

В обобщенном варианте можно принять как ориентир, что каждый лишний процент воды сверх обеспечивающей водопотребность цемента, снижает прочность на 1–3%, а такой эксплуатационный показатель, как морозостойкость – на 5–15%.

3.2.4 Активация цемента в ходе предварительной глубокой гидратации как способ их направленной модификации

Одна из наиболее популярных тем на различных форумах, посвященных пенобетону, – несоответствие характеристик получаемой продукции с ожидаемой

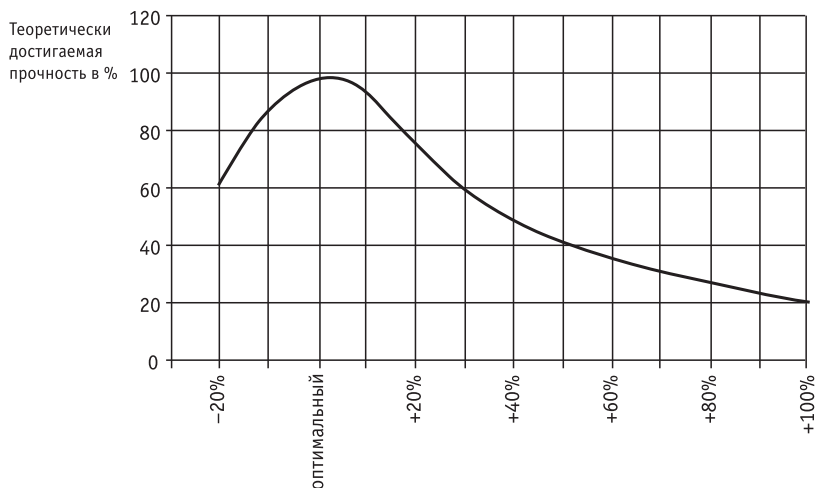


Рис.3.2.3.6-1 Изменение прочности бетона постоянного состава при отклонении содержания воды в бетонной смеси от оптимального

либо заявленной производителями оборудования. И на первом месте – проблемы с прочностью.

«Беру цемент, рекомендованный технологическим регламентом, опять же, рекомендованный пенообразователь, соблюдаю все дозировки и режимы приготовления, чуть ли не молюсь перед каждым замесом, а на выходе – пшик!»

Полученный пенобетон: «разрушается при транспортировке», «ломается, как только возьмешь в руки», «протыкается отверткой», «его можно проковырять пальцем» и т. д.

Конечно, можно поерничать по поводу таких способов контроля качества, но давайте рассмотрим проблему с научной точки зрения и с учетом методологии планирования эксперимента.

Итак, имеем классическую системную флуктационную ошибку воспроизводимости эксперимента. Иными словами, по необъяснимым причинам результаты проведения эксперимента (в нашем случае это производство пенобетона) носят случайный характер.

Ранее определились, и пусть это проходит по рангу «Дано», что результат стабильно достижим при выполнении определенных требований. В нашем случае, исходя из типового технологического регламента производства пенобетона, под таковые подпадают и являются главными:

- характеристики вяжущего;
- характеристики заполнителя;

- характеристики пенообразователя;
- характеристики оборудования;
- требования по дозированию, смешению и приготовлению компонентов;
- требования по последующему уходу за пенобетоном на стадии твердения и набора прочности.

Если Вы предложите подобные начальные условия любому серьезному экспериментатору, он обязательно начнет задавать массу уточняющих вопросов, поскольку данный технологический регламент не способен обеспечить строгую воспроизводимость результатов в принципе.

Возьмем простейшее – почему вы решили, что используемый пенообразователь абсолютно идентичен исходному, принятому в качестве эталона воспроизводимости? Не будем даже рассматривать недобросовестность производителя пенообразователя, и так хватает случайных факторов. Например, некоторые пенообразователи выпадают в осадок (клеенекалевые и алюмосульфонефтяные), некоторые разлагаются под воздействием ферментов (сапониновый), некоторые подвержены бактериальному разрушению (ГК), некоторые расслаиваются по достижении граничной концентрации (клееканифольный) и т.д. Как и где хранился пенообразователь? При какой температуре? И насколько пьян был, в конце концов, дядя Вася, начерпавший его из бочки. Откуда он черпал? Сверху жижу или и со дна гущу захватывал?

Даже при самой строгой постановке условий воспроизводимости эксперимента тактико-технические и эксплуатационные характеристики дяди Васи в каждый отдельно взятый отрезок времени из-за их ярко выраженной форс-мажорной природы, конечно, следует исключить – как говорится, против лома нет приема. Но остальные-то мы должны учитывать. И предвосхищать возможные последствия.

На эту тему много говорено-переговорено, но я возьму на себя смелость акцентировать внимание на наименее освещенной – теме вяжущих. Что обычно у пенобетонщиков подразумевается под вяжущим? Цемент. Еще иногда уточняется его марочность – М400, М500, М600. Еще более точная характеристика – оговаривается количество минеральных добавок. В ПЦ-500Д0 их до 5%, в ПЦ-500Д20 – до 20% и т.д. Уже кое-что, но все равно этого совершенно недостаточно.

(Здесь и далее все сказанное не относится к цементам некоторых развивающихся стран, которые в погоне за «самостийностью» настолько преуспели в данном начинании, что забежали даже впереди европейского паровоза, и теперь у них и шлакопортландцемент с содержанием шлака до 35%, в пику москалям, гордо именуется портландцементом второй группы эффективности – это проходит по разряду «дяди Васи».)

При указании применяющегося цемента необходимо обязательно ссылаться на его производителя. Минералогия цементов разных заводов, в зависимости

от особенностей местной сырьевой базы, очень сильно разнится. И в первую очередь по алюминатности. Бывают низко-, средне- и высокоалюминатные цементы. И хоть одинаковые марки этих цементов имеют равную 28-суточную прочность, кинетика ее набора, а также время схватывания и твердения, особенно под воздействием тормозящего гидратацию цемента пенообразователя, сильно отличаются. Столь же чувствительны разные цементы и к «подстеживанию» их ускорителями.

(На примере 7-суточной прочности это очень ярко наблюдается в приводимой ниже таблице. Для 3-суточной и особенно суточной прочности эта закономерность еще разительней.)

Абсолютно не учитывается фактор хранения цемента (маганизирования). Любой цемент при хранении теряет 8–15% своей активности за месяц! Причем меньшие числа относятся к низкомарочным, а большие – к высокомарочным цементам. Всего через полгода хранения хоть М600, хоть М500, хоть М400 одинаково благополучно превращаются в М200, а то и во что-то похуже. Процесс идет не только от влаги, но и под воздействием атмосферной углекислоты, а для нее даже битуминизированные шестислойные крафт-мешки помеха небольшая.

(Проблема серьезная, но решаемая. Более того, очень просто, и даже в гаражных условиях, получить цемент, который при хранении не теряет, а наоборот, набирает активность – имеет место эффект автоактивизации цемента. О гидрофобизированных цементах читай дальше.)

Потеря активности цементов при хранении, а также отсутствие, дороговизна либо дефицитность свежих высокомарочных цементов, пригодных для производства качественного пенобетона, решаемы. Для этого необходимо ввести в технологическую цепочку еще один, достаточно простой агрегат, в котором будет проводиться предварительная глубокая гидратация и механоактивация цемента. Воспроизвести в металле подобный агрегат возможно даже по его словесному описанию – главное, уяснить и реализовать идею.

Более подробное освещение темы, с обязательным (а куда без этого?) теоретическим экскурсом в теорию гидратации цемента, и как «все это» применить на практике будет продолжено далее. А пока результаты эффективности описанного ниже механоактиватора (см. *таблицу 3.2.4-1*).

3.2.4.1 Цепной смеситель-активатор

Цепной смеситель представляет собой конусообразный сосуд из листовой стали, внутри которого находится вертикальный вращающийся вал с прикрепленными к нему цепями. Вал через ременную передачу вращается со скоростью 250–300 об/мин от асинхронного двигателя мощностью около 2 кВт на каждые 100 л объема смесителя.

Вода и цемент, введенные в смеситель в количествах, соответствующие принятому для данного бетона водо/цементному соотношению, подвергают-

№ п/п	Цемент	Вид цементного теста	Время обработки (мин)	R _{сж} 7-суточное в кг/см ²
1	Щуровский	обычное	–	92,2
		активированное	20	146,0
		-- // --	40	161,4
		-- // --	60	180,1
2	Брянский	обычное	–	90,5
		активированное	20	126,5
		-- // --	40	163,4
		-- // --	60	193,5
3	Белгородский	обычное	–	87,0
		активированное	20	183,3
		-- // --	40	177,7
		-- // --	60	167,7
4	Польша	обычное	–	128,1
		активированное	20	261,9
		-- // --	40	229,1
		-- // --	60	225,1
5	Завод «Гигант»	обычное	–	82,5
		активированное	20	131,7
		-- // --	40	163,1
		-- // --	60	154,0
6	Подольский	обычное	–	227,0
		активированное	30	375,0
7	Краматорский	обычное	–	84,9
		активированное	20	145,0
		-- // --	40	160,0
		-- // --	60	200,0
8	Николаевский	обычное	–	89,3
		активированное	20	186,0
		-- // --	40	177,0
		-- // --	60	137,0
9	Рижский	обычное	–	105,0
		активированное	20	292,7
		-- // --	40	260,0
		-- // --	60	245,0

Примечание:

– прочность определена в 7-суточном возрасте для цемента М400;

– исходные цементы использовались свежие, со сроком хранения не более 1 месяца;

Для лежалых цементов в данном комплексном исследовании экспериментальная проверка не проводилась, но по сведениям других авторов, эксперименты на аналогичном активаторе свидетельствуют о том, что разница кубиковой прочности между лежалыми (5 месяцев) и такими же, но активизированными цементами:

– в 1-суточном возрасте – 10–12 раз;

– в 3-суточном – 5–8 раз;

– в 7-суточном – 3–5 раз;

– в 28-суточном – 1,2–2 раза.

Таблица 1.3.4.2-1

ся интенсивному воздействию водяного вихря и движущихся цепей. При этом возникает трение между зернами цемента, интенсифицирующее его гидратацию. В результате через 20–60 минут, в зависимости от исходных характеристик цемента, получается цементное тесто высокой активности даже из низкомарочных и лежалых цементов. Особенно эффективна подобная обработка для шлакопортландцементов – после нее они по скорости гидратации они не уступают чистоклинкерным, а то и превосходят их (см. выше, *таблица 3.2.4-1*; Краматорский цемент – шлака до 40 %).

Смеситель рассчитан на периодическую выдачу обработанного в нужной степени цементного теста, необходимого для работы бетономешалки.

Конструкция цепного активатора должна удовлетворять следующим основным условиям. Верхний диаметр должен быть равен высоте смесителя, нижний диаметр (по диафрагме) – половине высоты. Расстояние между узлами навески цепей – $1/12$ – $1/15$ высоты вала, по спирали с шагом 90° .

Толщина звена цепи, в зависимости от емкости цепного смесителя, принимается равной 8 мм (при 100 л), 10 мм (при 150 л), 12 мм (при 200 л) и 16 мм (при 250–350 л). Расстояние от концов цепей до ребер на стенках смесителя – 1–2 мм.

У диафрагмы ставят 4 нижние цепи не по спирали, а на одной высоте – для облегчения выгрузки. Диафрагма имеет отверстия диаметром 10 мм, высверленные в цельном листе по концентрическим окружностям, с 10-мм промежутками между ними.

Изнутри конусного корпуса, для предотвращения излишнего закручивания смеси, интенсификации измельчения и увеличения жесткости конструкции, на одинаковом расстоянии приварены 8 ребер из уголка со стороной 20–30 мм.

Дозировка цемента и воды производится по весу. Вместе с цементом допускается вводить пластификаторы, ускорители и иные модификаторы.

3.3 Оптимизация технологического регламента мерами организационного плана

Если отмежеваться от рецептурных проблем, производство бетонов достаточно просто – нужно всего лишь смешать ингредиенты в нужных пропорциях. Специализированное оборудование поможет это сделать с той или иной степенью эффективности. Но если задаться целью, чтобы на входе было сырье, а на выходе некий продукт, пусть это будет пенобетон, – возникает потребность в комплексе оборудования, увязанного и согласованного между собой. Помимо основного оборудования в такой комплекс должны обязательно входить и вспомогательные механизмы, и комплексы – средства по приемке и складированию компонентов, их транспортировке со склада к месту работ и дозирования.

Если задаться целью создать именно такой законченный производственный комплекс (по сути, завод), окажется, что он намного дороже суммарной стоимости задействованного оборудования. Этот тезис подтверждает и практика: можно сравнительно дешево купить оборудование по отдельности, но вот целостный комплекс из таких же устройств, увязанных между собой в единый технологический процесс, будет на порядок дороже. И дело здесь не только в этой самой «увязке». Продавая единичный образец любого оборудования, производитель гарантирует только его работоспособность: пеногенератор будет выдавать нужную пену, смеситель – смешивать, форма – формовать и т.д. Продавая же законченный комплекс по производству того же ячеистого бетона, производитель обязан уже гарантировать работоспособность всего комплекса, т.е. его способность производить определенную продукцию, соответствующую заявленным характеристикам.

Наглядный пример такого подхода – сухие строительные смеси. В принципе их состав достаточно тривиален, а стоимость ингредиентов просто ничтожна по сравнению со стоимостью конечного продукта. Так за что же мы платим такие бешеные деньги, спросите вы?

А платим мы за то, что производитель, например из Германии, гарантирует, что если в далекой России прочитают три строчки инструкции и сделают в точности так, как там написано, то, скажем, плиточный клей будет держать плитку прочно и долго. Причем, заметьте, никого не волнует, несколько пьян был дядя Вася, этот клей замешивавший, как точно он дозировал воду, насколько тщательно все это перемешивал, да и перемешивал ли вообще. Иными словами, в данном случае производитель, в сущности, дает гарантию не на свой товар, а на качество работы, выполненное с его помощью.

Как им это удастся? Просто предусматривается дополнительная подстраховка; в составе того же плиточного клея, помимо действительно необходимых составляющих, имеется и целый комплекс добавок, обеспечивающих так называемую «защиту от дурака». В высококачественных сухих смесях таких добавок насчитывается до 30! При всем желании вам не дадут грубо нарушить рецептуру или технологию ведения работ. Мало воды добавили (слишком малое В/Ц) – водоудерживающий реагент ее не отдает, и смесь абсолютно не липнет к основе. Много воды добавили (слишком большое В/Ц) – включился гиперпластификатор и скачкообразно повысил пластичность – со стенки стекает, опять работать невозможно. «Забыли» прогрунтовать основу – полимер подстрахует. Жарко – замедлитель схватывания тут как тут. Холодно – ускоритель твердения наготове. Слишком тонким или толстым слоем нанесли – пластическая вязкость скачет, придется специальную гребенку использовать. И так во всем.

Но тот же плиточный клей можно изготовить и самостоятельно. И качество работы будет не хуже. Вот только «защитой от дурака» должно выступить знание и соблюдение культуры производства.

Если ставить перед собой задачу максимально эффективного использования капитала при производстве ячеистых бетонов, следует покупать не отдельное оборудование, а готовый производственный комплекс. Его производители уже позаботились, что сразу после окончания монтажа он начнет выпускать качественную продукцию в запланированном объеме. Но этот путь, безусловно, весьма эффективный, чреват немалыми затратами. Стоимость тех же зарубежных комплексов по производству ячеистых газосиликатов исчисляется несколькими миллионами долларов.

Если предположить, что уровень технической грамотности позволяет отказаться от излишней перестраховки, либо нет возможности воспользоваться ею в полной мере по экономическим причинам (что вероятнее), имеет смысл попытаться скомпоновать имеющееся оборудование в целостный производственный комплекс. Одной из его составляющих обязательно должно стать оборудование по транспортировке ингредиентов. И в первую очередь цемента.

3.3.1 Пневматическое оборудование по транспортировке цемента

Если не рассматривать экзотические схемы, то все оборудование, используемое для транспортировки цемента, можно разделить на две группы – пневматическое и механическое. В промышленности нашли применение оба этих типа. Часто они используются совместно или в комбинированных установках.

3.3.1.1 Классификация пневматического оборудования

Пневматические транспортные установки – это комплекс устройств, перемещающих сыпучие материалы (пылевидные, порошкообразные, зернистые, измельченные и т. д.) с помощью сжатого или разреженного газа. В большинстве пневмотранспортных установок в качестве транспортирующего газа используют воздух. Однако в том случае, когда недопустимо соприкосновение воздуха с транспортируемым материалом, применяют инертный газ (например, при транспортировке взрывоопасных и легкоокисляющихся материалов).

Установки для пневматического транспортирования материалов различают по давлению несущего потока, размеру частиц и концентрации перемещаемого материала в потоке, характеру движения потока, типам питательных устройств и др. Наиболее часто их классифицируют по концентрации перемещаемого материала и значению давления в пневмосистеме. Различают установки с низкой, средней и высокой концентрацией частиц транспортируемого материала.

За верхнюю границу низкой концентрации принимают расходную массовую концентрацию $\mu \leq 4$ кг/кг. Средняя концентрация соответствует значению $\mu = (4-20)$ кг/кг; $\mu > 20$ кг/кг характеризует поток с высокой концентрацией.

Границей между пневматической транспортировкой с разбавленной и плотной фазами является расходная массовая концентрация 50–60 кг/кг. Массовая концентрация 500–600 кг/кг считается наиболее высокой.

В последнее время в различных отраслях промышленности стали применять новые, более экономичные установки пневмотранспорта, в которых материал перемещается сплошным потоком, в условиях плотной фазы (аэрожелоба, поршневой транспорт).

По способу воздействия воздуха все пневмотранспортирующие установки можно разделить на три основные группы (см. *рис. 3.3.1.1-1*).

К первой группе относятся пневмотранспортные установки, в которых сыпучий материал перемещается в потоке воздуха, т. е. на материал действуют силы давления. По способу создания в транспортном трубопроводе разности давления эти установки могут быть всасывающего, нагнетательного и всасывающе-нагнетательного действия.

Установка всасывающего действия (*рис. 3.3.1.1-1а*) состоит из заборного устройства (сопла) (1), системы трубопроводов (2), осадителя материала (3), пылеуловителей (5) и побудителя тяги (вентилятора, вакуум-насоса) (6), который просасывает воздух через всю установку. Этот воздух, поступая в сопло, захватывает материал, заставляя его двигаться по системе трубопроводов; выделяется материал из потока в осадителе. Оставшиеся в воздухе мельчайшие частицы материала улавливает пылеуловитель, а затем воздух через побудитель тяги выбрасывается в атмосферу. В установках всасывающего действия используется низкий (до 90 кПа), средний (до 70 кПа) и высокий (до 40 кПа) вакуум.

В пневматических установках нагнетательного действия (*рис. 3.3.1.1-1б*) трубопроводы и аппаратура находятся под избыточным давлением. Давление наиболее значительно в месте подключения трубопроводов к воздуходувной машине (5), где обычно материал загружается в пневмотранспортную установку специальным загрузителем – пневматическим винтовым насосом, камерным насосом и т. п. Сжатый воздух, подаваемый от компрессора, может переносить материал с высокой концентрацией и на большие расстояния.

Рабочее давление сжатого воздуха на входе в установку составляет 30 кПа, а в отдельных случаях – 500–600 кПа.

Установки всасывающе-нагнетательного действия (*рис. 3.3.1.1-1в*) сочетают основные преимущества рассмотренных установок. В них использованы заборные устройства установок всасывающего действия, работающих без пылевыведения. В основном, наиболее протяженном, транспортном трубопроводе материал переносится под давлением при более высоких концентрациях. В небольших установках обе ветви (всасывающая и нагнетающая) могут работать от одного вентилятора (14). Осадитель (3) всасывающей установки имеет в верхней части матерчатый фильтр, который препятствует попаданию пыли в воздуходувную машину.

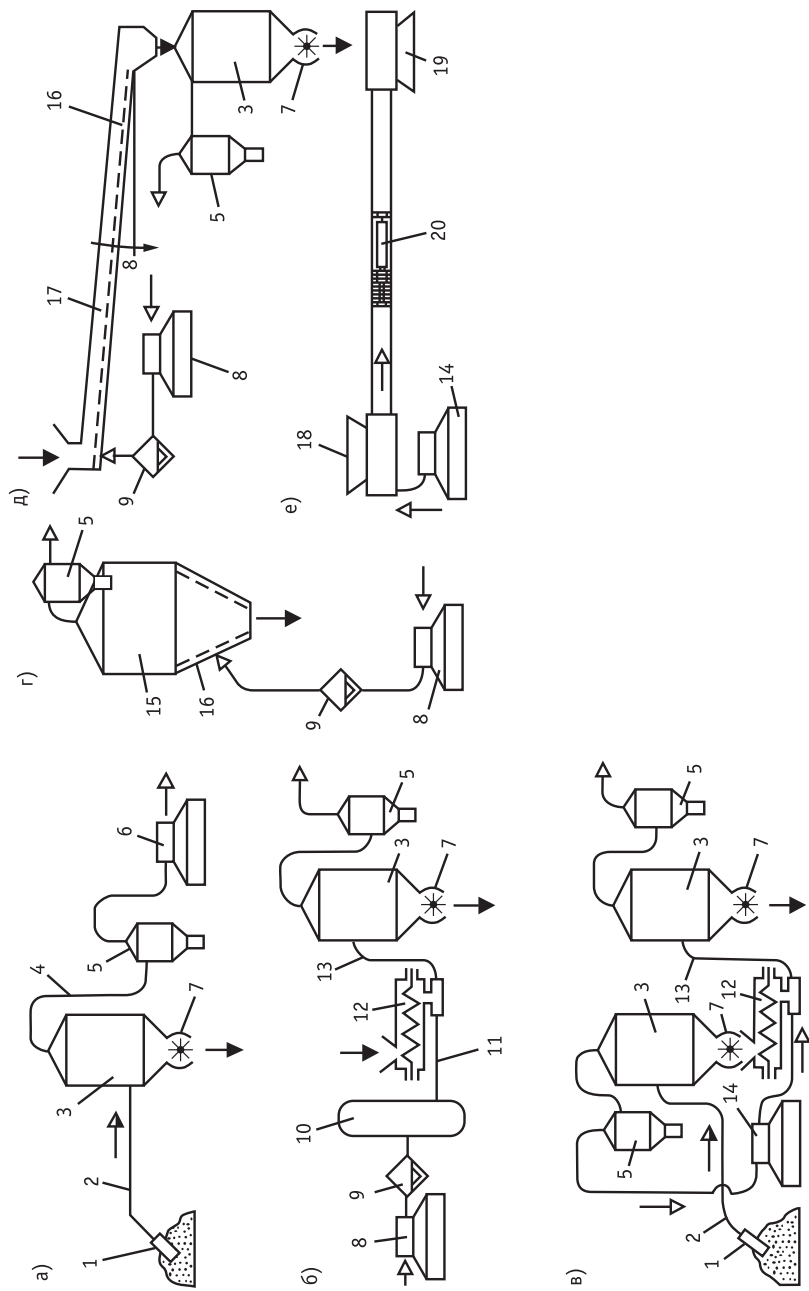


Рис. 3.3.1.1-1 Схемы пневмотранспортных установок: а – всасывающая; б – нагнетательная; в – всасывающе-нагнетательная; г – аэрационная; д – аэротранспортная.

1 – сопло; 2 – всасывающий материалопровод; 3 – осадитель (расходный бункер); 4 – трубопровод; 5 – пылеуловитель; 6 – побудитель тяги; 7 – затвор осадителя; 8 – воздушная машина (компрессор); 9 – маслоотделитель; 10 – воздухоотборник; 11 – воздухопровод; 12 – питатель; 13 – нагнетательный трубопровод; 14 – вентилятор; 15 – силос; 16 – микропористая перегородка; 17 – аэрожелоб; 18 – разгрузочная станция; 19 – контейнер; 20 – контейнер.

Ко второй группе относятся пневмотранспортные установки с плотным слоем, принцип работы которых основан на псевдоожигении материала потоком сжатого воздуха на перфорированных перегородках. Псевдоожигенным (кипящим) слоем называют такое состояние зернистого материала, обычно расположенного на пористой перегородке, при котором сила воздействия проходящего через отверстия потока превысит массу слоя.

Материал в псевдоожигенном слое устойчиво перемещается только в вертикальных трубопроводах (пневмоподъемниках) и в аэрожелобах (*рис. 3.3.1.1-1б, д*). Скорость частиц материала в трубопроводе составляет не более 4–7 м/с, а концентрация – до 600–800 кг/кг. Давление сжатого воздуха, зависящее от длины транспортного трубопровода, обычно не превышает 3–5 кПа.

Высоконапорное импульсное пневмотранспортирование осуществляется в установках пульсирующего действия, в которых транспортируемый материал перемещается импульсами в виде пробок с промежутками, заполненными сжатым воздухом. В этом случае материал подается с высокой концентрацией, и можно транспортировать материалы с плохой текучестью, склонные к налипанию на стенки трубопровода, а также гранулированные и зернистые, без разрушения частиц. Импульсное транспортирование со скоростями от 2 до 6 м/с отличается высокой экономичностью, так как при минимальном расходе воздуха достигается высокая производительность.

Транспортные аэрожелоба – один из видов горизонтального пневмотранспорта сухих мелких неомкующихся материалов. Они относятся к установкам нагнетательного действия с низким давлением, транспортирующим материал в условиях плотной фазы.

3.3.1.2 Установки с применением аэрации

Для вспомогательных операций при транспортировке цемента и других пылевидных материалов серийно выпускают оборудование, работающее по принципу аэрации, при которой порошковый материал насыщается капиллярно распределенным воздухом и приобретает легкую подвижность (текучесть), близкую к текучести жидкости. К этой группе оборудования относятся аэрожелоба, загрузочные установки, аэрационные воздухохораспределительные коробки и пневматические донные и боковые разгрузатели.

Аэрожелоба предназначены для транспортирования с небольшим уклоном сухого порошкообразного материала как при подаче из одного пункта в другой, так и для распределения материалов по ряду пунктов, а также для сбора материала из ряда пунктов и подачи его в какой-то определенный. Для автоматической загрузки автоцементовозов, крытых железнодорожных вагонов и вагонов-цементовозов из складов силосного типа используют загрузочные устройства. Аэрационные воздухохораспределительные коробки предназначены для обо-

рудования днищ силосов и бункеров в целях обеспечения беспрепятственной и равномерной выдачи из них сыпучего материала за счет его аэрации.

Пневматические донные и боковые разгрузатели предназначены для регулируемой выгрузки сыпучих материалов из силосов с аэроднищами.

Аэрожелоб представляет собой трубопровод прямоугольного сечения, составленный из двух П-образных коробов верхнего и нижнего, между которыми помещена воздухопроницаемая микропористая перегородка, керамическая или тканевая. Отдельные звенья желоба длиной до 4 м соединены при помощи фланцев в общий аэрожелоб необходимой длины.

В нижний короб, служащий воздухопроводом, через переходный патрубок нагнетается воздух от вентилятора с рабочим давлением до 0,006 МПа. В вентилятор воздух засасывается через фильтр, чтобы предохранить микропористую перегородку от загрязнения пылью.

В верхний короб, служащий транспортным лотком, из силоса или другой емкости через верхний загрузочный патрубок подается транспортируемый материал, который аэрируется и перемещается под действием силы тяжести по наклонной плоскости.

Угол наклона аэрожелобов обычно 3–8°. Верхний короб имеет смотровые и вентиляционные окна, которые служат для выхода отработанного воздуха и представляют собой металлическую рамку с фильтрующей тканью, покрытую металлической сеткой.

При необходимости разгрузки транспортируемого материала в нескольких точках аэрожелоб оборудуют боковыми переключателями.

Аэрожелоб может быть изогнут в горизонтальной плоскости под углом 15°, 30° и 45°. Минимальный радиус закругления следует принимать равным 1,8 м.

Для изготовления мягких пористых перегородок рекомендуется применять следующие материалы: восьмислойный хлопчатобумажный ремень (арт. 2332), шестислойную цельнотканую хлопчатобумажную транспортную ленту (арт. 2348), четыре слоя брезента (арт. 11205), капроновую ткань в два слоя (арт. 1545); ткань ТЛФТ-5Ц, изготавливаемую фабрикой «Красный Перекоп» (Ярославль), бельтинг хлопчатобумажный Б-800 и В-820 (ГОСТ 2924–67) и др.

При температурах транспортируемого материала более 200–250°С тканевые перегородки заменяют на асбестовые. В этом случае микропористая перегородка состоит из слоя асбестового полотна марки АТ-4 и трех слоев стеклоткани (на внешней стороне). Иногда асбестовое полотно покрывают металлической саржей.

Тканевые перегородки более удобны в эксплуатации, так как они не ломаются при перекосах, но на абразивных материалах аэрожелоба лучше работают с керамическими перегородками.

Керамические плитки легко обеспечивают прохождение воздуха в количествах 6 м³/мин на 1 м².

Модель (фирма), страна-изготовитель	Производительность (техническая), т/ч	Рабочая ширина желоба, мм	Уклон желоба, град	Рабочее давление транспортирующего воздуха, МПа	Расход воздуха, м³/мин на м²
1, СССР (для муки)	10	100	6	0,002	2
2, СССР (для муки)	11–20	150			
3, СССР (для муки)	21–30	200		0,002 - 0,0025	
4, СССР (для муки)	31–40	250			
ТН-22, СССР (для цемента)	200	200	4	0,005	1,5
ТН-2, СССР (для цемента)	400	400	6		
«Фуллер» (США)	113	356	8	0,005	1,5– 2
	227	408			
«Скет», Германия	17–140	250	4–5	0,005	1 – 1,5
	50–500	500			
500, Франция	260–410				
	3	0.005	1,5–4		
630, Франция	410–680	630	4	0,006	

Таблица 3.3.1.2-1 Технические характеристики аэрожелобов

Иногда вместо мягкой микропористой устанавливают воздухораспределительную жалюзийную перегородку, благодаря которой воздух вводится в транспортируемый материал не перпендикулярно, а под некоторым острым углом в направлении транспортирования. В результате воздух не только аэрирует материал, уменьшая внутреннее трение, но и динамически воздействует на него, что дает возможность осуществлять транспортирование не только по уклону, но и горизонтально, и даже с небольшим подъемом вверх.

По данным практики, воздух следует подводить в аэрожелоб через каждые 30–40 м. Расход воздуха, необходимый для работы аэрожелоба, зависит от физико-механических свойств перемещаемого материала, высоты слоя и угла наклона желоба. Для материалов типа цемента и концентратов руд цветных металлов при высоте слоя материала 50 мм для аэрирования требуется до 3 м³/мин воздуха на 1 м² аэрирующей поверхности. Для легких и волокнистых материалов расход воздуха возрастает до 15 м³/мин на 1 м² аэрируемой поверхности.

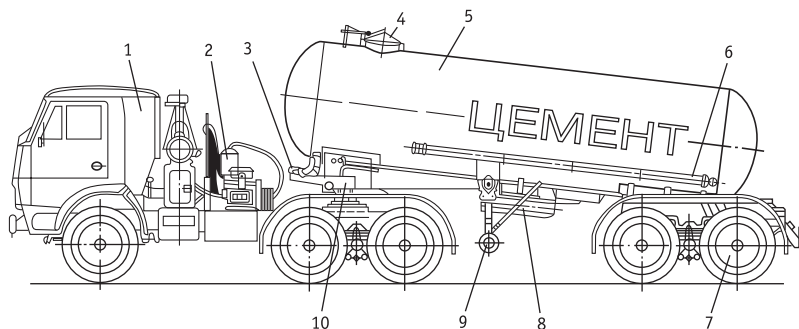


Рис. 3.3.1.3-1 Автоцементовоз ТЦ-11: 1 – седельный тягач КамАЗ-5410; 2 – компрессорная установка; 3 – пневмооборудование для разгрузки; 4 – загрузочный люк; 5 – цистерна-полуприцеп; 6 – разгрузочный рукав; 7 – ходовая часть; 8 – запасное колесо; 9 – опорное устройство; 10 – сцепное устройство.

Технические характеристики некоторых отечественных и зарубежных автожелобов приведены в *таблице 3.3.1.2-1*.

3.3.1.3 Автоцементовозы и автозоловозы

Автоцементовоз (автозоловоз) представляет собой автопоезд, составленный из седельного тягача и цистерны полуприцепа.

Полуприцеп состоит из цистерны, ходовой части с тормозной системой, опорного и сцепного устройств, электрооборудования. Компрессорная установка смонтирована на специальной раме, закрепляемой на раме тягача. По расположению резервуара цистерны различают на вертикальные, горизонтальные и наклонные. Отечественная промышленность выпускает автоцементовозы и автозоловозы с наклонным расположением резервуара.

Цистерна включает в себя резервуар цилиндрической формы с выпуклыми эллиптическими днищами (*рис. 3.3.1.3-1*), установленный с уклоном 6–8 градусов в сторону выгрузки. Внутри цистерны, в нижней ее части, вдоль образующей цилиндра расположены один или несколько аэролотков, между которыми установлены жесткие рассекатели. В цистерне с одним или двумя аэролотками на ее боковой поверхности, прилегающей к лотку, под углом 45–50° приварены откосы. Аэролоток выполнен в виде короба, покрытого сверху аэрационной тканью. Наверху цистерны имеется загрузочный люк, герметически закрываемый крышкой. В нижней задней части цистерны оборудован разгрузочный патрубок с краном, продувочной форсункой и грибовидной головкой для подсоединения при помощи быстроразъемного замка наконечника транспортного материалопровода. Кран служит для регулирования производительности и экстренного прекращения разгрузки.

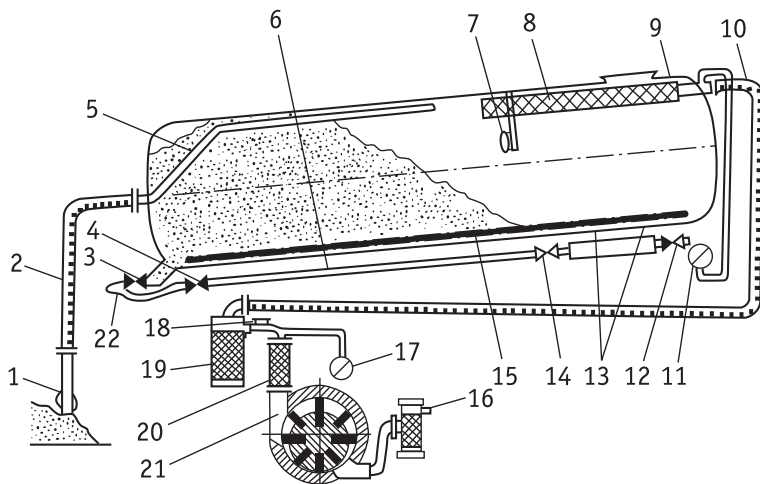


Рис. 3.3.1.3-2 Устройство самозагружающегося автоцементовоза: 1 – сопло; 2 – загрузочный шланг; 3, 13, 14 – пробковые краны; 4, 12 – обратные клапаны; 5 – распределительная труба; 6 – воздухопровод; 7 – сигнализатор уровня; 8 – фильтр первой ступени; 9 – цистерна; 10 – шланг; 11 – моновакуумметр; 15 – аэролотки; 16 – влагомаслоотделитель; 17 – вакуумметр; 18 – крышка; 19 – фильтр второй ступени; 20 – инерционный фильтр; 21 – ротационный компрессор; 22 – разгрузочный клапан.

Пневмооборудование автоцементовоза состоит из ротационного компрессора, приводимого в действие от двигателя автотягача через коробку отбора мощности, влагомаслоотделителя, коллектора с предохранительным клапаном и манометром и системы воздухопроводов с кранами. На воздухопроводе подачи воздуха к продувочной форсунке есть обратный клапан. Органы управления компрессором расположены в кабине водителя. Для контроля за давлением на цистерне установлен манометр, а для самозагружающегося материаловоза – мановакуумметр.

Загружают цистерну через загрузочный люк из складов силосного типа посредством донных и боковых разгрузителей, а разгружают за счет сжатого воздуха, подводимого к аэролотку от компрессора. Проходя через пористую перегородку, сжатый воздух аэрирует находящийся на нем слой материала и создает давление в цистерне. Насыщенный воздухом материал стекает по аэролотку к разгрузочному патрубку, подхватывается струей воздуха, идущей от продувочной форсунки, и транспортируется за счет избыточного давления по трубопроводу к месту разгрузки в силосный склад. Разгрузка заканчивается при падении давления в цистерне до нуля.

Самозагружающиеся автоцементовозы (золовозы), в отличие от обычных, оборудованы устройствами для вакуумной самозагрузки бестарного цемента,

Параметры	ТЦ-4	ТЦ-10	ТЦ-9А	ТЦ-6	ТЦ-11	ТЦ-2А	ТЦ-2Б
Грузоподъемность, т	8	10	12	13,5	14,5	22	22
Производительность разгрузки, т/мин	0,5–1,0						0,9–1,0
Дальность подачи при разгрузке, м	50						
В том числе по вертикали, м	25						
Производительность самозагрузки, т/мин	до 0,5		0,4	самозагрузка не предусмотрена			
Производительность компрессора, м ³ /мин	6,0						7,5
Рабочее давление нагнетания, МПа	0,15						0,16
Рабочее разрежение, %	60			В режиме вакуумнасоса работа компрессора не предусмотрена			
Масса (без груза), кг	7300	7600	10950	10900	12150	17600	17300
Завод-изготовитель	Прилукский завод строительных машин (Украина)		Красногорский завод «Цеммаш» (Россия)			Славянский завод «Строймаш» (Украина)	

Таблица 3.3.1.3-1 Технические характеристики автоцементовозов и золовозов

с забором его из бурта, амбарных складов и крытых вагонов. Оборудование для самозагрузки (см. *рис. 3.3.1.3-2*) состоит из фильтров первой, второй и третьей ступеней, заборного сопла, загрузочно-распределительной трубы, сигнализатора уровня наполнения цистерны.

Компрессор, входящий в состав автоцементовоза, может работать в режиме вакуум-насоса при самозагрузке и в режиме компрессора – при пневморазгрузке цистерны.

Работа самозагружающегося автоцементовоза основана на заборе и перемещении сыпучего материала по трубопроводу за счет вакуума, создаваемого в цистерне вакуум-насосом. Управление заборным соплом осуществляется вручную. Технические характеристики автоцементовозов приведены в табл. 3.3.1.3-2.

3.3.1.4 Некоторые практические соображения и «производственные секреты» работы цементовозов

Автор не одну тысячу километров проехал и в кабине цементовоза, и, порой, за его рулем – наша организация длительное время специализировалась на поставках цемента. Снабжение цементом – это достаточно отлаженный и стабиль-

ный бизнес, изобилующий многими нюансами и производственными секретами. Люди, которые этим занимаются десятилетиями, знают его досконально. И уж поверьте, ВСЕГДА найдут способ, как добыть своим детям не только кусок хлеба, но и масло к нему. Вам тоже полезно будет узнать хоть некоторую толику производственных секретов. Тем более что цемент – главная составляющая пенобетона. От его качества и рентабельности поставок зависит очень многое, если не все.

Только на самых первых, начальных порах, можно довериться случайным поставщикам цемента. Какими бы громкими регалиями, они ни прикрывались и какие бы красивые бумажки и сертификаты вам ни показывали. Гарантом качества данной партии цемента является ТОЛЬКО заключение НЕЗАВИСИМОЙ лабораторной экспертизы (даже к лабораторному заключению цемкомбината следует относиться с известной осторожностью). А поскольку лабораторная проверка цемента процесс достаточно длительный и дорогой, проводить его на месте имеют возможность только крупные потребители. И даже они это делают чрезвычайно редко – дешевле и проще, получается, подстраховаться простым перерасходом цемента.

Проблема усугубляется еще и тем, что в процессе погрузки или тарирования, еще на заводе, возможны различные «схемы», благодаря которым вы вместо своей бездобавочной «пятисотки» на вполне законных основаниях получите, в лучшем случае, четырехсотый, а то и вообще шлакопортланд, в котором будет половина шлака, и который для пенобетона ну никак не годится – сплошное мучение. Хотя внешне они абсолютно одинаковы. Как тут быть?

Совет первый, главный – не жадничайте, и все у вас получится.

Совет второй – берете новое ведро и заполняете его доверху конфетами. Самыми дорогими, какие найдете. Легенду придумайте сами, главное, чтобы под ее прикрытием вы с этим ведром проникли в заводскую лабораторию. Лучше всего ничего не выдумывать – честно рассказать, как важны для вас поставки качественного цемента, и как вы способны ценить эксклюзивную информацию. В заводских лабораториях работают очень милые и симпатичные молодые девушки, обделенные вниманием клиентов, в отличие от отдела сбыта. Вы сами будете поражены, как много интересной и полезной информации можно узнать, подружившись с сотрудниками заводской лаборатории. Уж поверьте, этот способ проверен многократно. И ни разу он не давал осечек. А непринужденное общение за чашкой чая, с вашими же конфетами, будет не только полезно в плане Вашего профессионального роста, но и просто приятно...

Совет третий – располагая «эксклюзивчиком» (как там минералогия «пляшет», какая печь не в режиме, какая банка силоса заполняется прямиком с мельницы, а какая была заполнена еще полгода назад, что там с мелющими телами и на какой мельнице «тонина упала»), вы сможете уже более предметно общаться на отгрузке. Там вам тоже – в обязательном порядке! – нужно будет «навести мо-

сты». При умелом подходе даже проблема пересортицы (см. выше) может быть обыграна в вашу пользу, а ее неизбежные последствия будут расхлебывать какой-нибудь бедолага, который всего этого, разумеется, не читал.

Совет четвертый – при малейшей возможности организуйте снабжение своего производства при помощи цементовоза – цемент навалом. В этом случае возможен хоть какой-то контроль. Работать же на тарированном цементе, в мешках, оставьте любителям самоистязания. Там ситуация настолько закрученная, что о каком-либо качестве или стабильности можно забыть в принципе. Или гарантированный недовес, или гарантированная пересортица – третьего не дано. А к надписям на мешках относитесь сугубо скептически.

Совет пятый – если вы имеете возможность разовой приемки цементовоза, иными словами, ему есть куда «выдуться» (подготовленный сарай, спецхранилище и т.д.), очень ответственно подойдите к выбору самого цементовоза и, самое главное, водителя, который на нем работает. Если все сделать грамотно, профессионал-водитель, который на этом цементовозе проработал всю жизнь, и который знает на ближайших цементных комбинатах каждую собаку, решит большинство ваших проблем. Как правило, это ушлые и толковые дядьки, которые не только в совершенстве знают свою машину и спецоборудование на ней, но и детально посвящены во все тонкости и нюансы всего этого дела – вплоть до особенностей личной жизни сотрудников комбината. Они за руку здороваются с каждым гаишником на дороге и с помощью маленькой шоколадки в три минуты решают все проблемы в отделе сбыта. И даже очередь на загрузку машин эдак в 300 помеха для них небольшая – максимум через час перегруженная бочка начинает монотонно «бодаться в спину» на пути домой.

Разумеется, подобный «сервис» – удовольствие не из дешевых: доставка цемента автоцементовозом стоит 0,5–1,0 доллара за километр пути, вплотную приближаясь к цене самого транспортируемого материала (расценки Восточной Украины 2004 года). И многие начинающие или разовые потребители цемента, считая эти расценки грабительскими, стараются сэкономить на доставке любым доступным способом. Рано или поздно, но практически всегда жизнь им преподносит урок, и они начинают понимать, что профессионализм в любых его проявлениях дешевым быть не может по определению.

Совет шестой – если транспортное плечо до нужного комбината превышает 200 км, и Вы способны принять вагонные нормы, имеет смысл рассматривать схему комбинированных поставок: железная дорога плюс автотранспорт.

Традиционно эта схема решается при помощи местного завода ЖБК. У них, как правило, имеются производственные мощности по приему и хранению вагонных норм. Берут они за эту услугу обычно тем же цементом – от 10 % с хопра за разгрузку и 5–10 % за месяц хранения. Конечно, дороговато и для приемки высокомарочных цемента не годится в принципе – никто не будет там носить-

ся с вашей бездобавочной пятисоткой. Свалят в общую кучу в свободный силос и, в лучшем случае, не станут гонять его по банкам.

Модернизация этой схемы – осуществить перегруз с вагона-хопра в свое хранилище самостоятельно. За достаточно скромное вознаграждение на любой станции «отобьют готовность» на комбинат по приему специального вагона-цементовоза в ближайшем тупике. Разумеется, если вы аргументировано убедите начальника станции, что сможете обеспечить его разгрузку самостоятельно.

(Такую экзотику, как «дежурным тепловозом раскрываем на перегоне люки «под себя», на брезент, а затем десяток студентов за ночь «растаривают» 65 т в мешки», конечно, предлагать не стоит. Схема хоть и подкупающе дешевая, но все же предполагает очень четкую организацию и опыт подобных экстремальных действий, уж поверьте на слово.)

Гораздо проще организовать разгрузку вагона-цементовоза при помощи автоцементовоза. Он же и доставит его к точке разгрузки, и выгрузит без хлопот. Единственный нюанс – бочка должна быть оборудована соответствующей системой самозагрузки. Как правило, все 12-тонные бочки под тягач КамАЗ-5410 именно такими и выпускаются изначально. Суть этой системы: компрессор начинает работать «наоборот», как вакуумный насос. Он создает разрежение в бочке, и струя всасываемого воздуха захватывает цемент. Чтобы он не попал в насос, есть два фильтра – один непосредственно на компрессоре, а другой в самой бочке. Вот с этим фильтром обычно и возникают главные проблемы: его просто срезают, чтобы увеличить полезный объем бочки, и 12-тонник превращается в 14-тонник. Соответственно, цементовоз уже не способен к самозагрузке.

И даже если все нормально, водители очень неохотно соглашались на подобные издевательства над техникой. Как ни крути, запыленный воздух, даже после всех фильтров, быстро изнашивает текстолитовые пластины в роторном насосе – его производительность резко падает. И если в обычном режиме компрессор годами не требует к себе внимания, то через 10-15 циклов самозагрузки пластины нужно менять. На нерасфрезерованных канавках ротора компрессора это усугубляется еще и крайней дефицитностью этих самых пластин. Так что если водитель не уверен в целостности фильтров, он никогда не согласится на самозагрузку. Ну разве полный дурак подвернется или, что чаще, случайный «наездник». И наказаны за подобную неосмотрительность в первую очередь будете вы сами – с неисправными фильтрами насос сломается через 10 минут работы, вагон затолкают в тупик, и все то время, пока вы будете судорожно метаться по городу в поисках нового цементовоза, согласного на самозагрузку, штрафы за простой будут облегчать ваш кошелек.

Зондаж на предмет возможной самозагрузки следует начинать только с водителя – никакое начальство в этом вопросе вам не помощник. Разговор рекомендую начать с полупуштливого и фривольного склонения слова «сосать»,

разумеется, по отношению к цементовозу. Хотя подобный стиль беседы предполагает обязательное умение парировать выпады оппонентов их же языком, любой водитель цементовоза сразу же поймет о чем речь. Вот тогда уже и пойдет заинтересованный разговор, результат которого всецело будет зависеть от вашей подготовленности к тому факту, что операция самозагрузки действительно весьма хлопотна и нетипична для повседневной работы, а следовательно, должна быть соответствующим образом вознаграждена.

Если переговоры прошли успешно и вы заполучили сосущий цементовоз, дальнейшее весьма просто. Грамотно построенная беседа с экипажем дежурного тепловоза – и сразу по прибытию вагон уже стоит в удобном месте. И вы об этом знаете, как только он пересечет входные стрелки; дармовые «бесплатные» сутки на разгрузку наверняка по достоинству будут оценены вашим начальником.

Дальше дело техники: бочка двенадцатитонника заполняется максимум за час. Внутри вагона-хопра должен находиться человек в противогазе, который водит соплом и обеспечивает забор цемента по углам.

Совет седьмой – контроль выгрузки.

Если цементовоз «ходит под загрузку» без вашего экспедитора, либо они с водителем «спелись» (очень часто, если не всегда, водитель берет экспедитора в долю – в этом вопросе нужен глаз да глаз), возникает проблема обеспечения сохранности тоннажа в пути. Профессиональный водитель цементовоза ВСЕГДА знает, в каком придорожном селе можно тонну-другую быстренько выдуть. Проверить этот факт очень сложно, не зная одного маленького секрета: если система выгрузки по пути домой включалась, то в открытый люк видно, что цемент испещрен сетью трещин (как пересохшая глина летом).

Открывая для проверки верхний люк, обязательно обратите внимание на различные проволоки, веревки и пр., торчащие из него. Это верный признак – на донных сетках аэрожелоба лежит кусок брезента. После окончания разгрузки водитель за веревку вытащит этот брезент и еще пару тонн выдует, но уже себе.

В процессе выгрузки очень сложно определить момент ее окончания: все ревет, пыль, дым – подойти страшно. Падение давления на манометре бочки НЕ ЯВЛЯЕТСЯ признаком полной разгрузки, как бы ни убеждал вас в этом водитель. Внимательно следите за шлангом, по которому цемент транспортируется. Пока он хоть немного вздрагивает, значит, цемент еще идет. Если резко упало давление, но шланг продолжает дрожать, заставляйте водителя продолжать разгрузку. Все его высказывания по данному вопросу – дешевый спектакль, рассчитанный на вашу эмоциональную неустойчивость.

Совет восьмой – если доверяете, дайте водителю заработать.

Проверено неоднократно – цементовоз может взять цемента больше, чем по паспортным данным на данную бочку. Это зависит от мастерства оператора загрузки (по минимуму аэрирует цемент на аэрожелобах силосов), желания самого

водителя (дергает бочку тягачом – зрелище не для слабонервных, или ждет несколько часов, пока само уляжется). Многое зависит также и от схемы, по которой в данный момент работает отгрузка: если идет сильно аэрированный цемент прямиком с мельниц (обычно это бывает летом), получается вообще недогруз.

Если от водителя поступит предложение, что он, дескать, вместе с вашими двенадцатью привезет и для себя еще пару тонн, знайте – такой трюк в принципе возможен. Но решение по этому вопросу должно целиком зависеть от степени вашего доверия данному водителю.

3.3.2 Механическое оборудование по транспортированию цемента. Винтовые конвейеры

Винтовые конвейеры (шнеки) применяются для транспортировки цемента, гравия, песка, шлака, мокрой глины, бетонной смеси на расстояние 30–40 м. Они могут перемещать материалы под углом до 20° ; в отдельных случаях их используют и для вертикального транспортирования. Винтовой конвейер представляет собой винт, заключенный в кожух (желоб). При вращении винта материал перемещается вдоль его оси. Работают такие конвейеры при определенной окружной скорости винтов, которая выбирается с учетом коэффициента трения между материалом и винтом. Качество работы конвейера зависит от заполнения желоба: при слишком большом заполнении трение между материалом и винтом будет очень велико и может произойти закупорка желоба; при недостаточном заполнении снизится производительность конвейера.

Крупный гравий, песчаник, известняк лучше транспортируются ленточным или лопастным винтом.

Производительность винтовых конвейеров зависит от средней площади сечения потока материала в желобе и скорости его перемещения вдоль оси. Эти величины зависят от диаметра желоба, шага и оборотов винта, его конструкции и свойств материала.

Шаг винта равен диаметру или 0,8 диаметра винта. Диаметры винтов стандартизованы и изготавливаются в пределах от 0,15 до 0,6 м. При выборе конвейеров необходимо, чтобы шаг винта был в 12 раз больше среднего размера кусков сортированного материала и в 4 раза больше максимального размера кусков рядового материала.

Методология расчета винтовых конвейеров проста и отработана настолько, что задается студентам в качестве домашнего задания. Более подробную информацию можно почерпнуть из списка литературы. В качестве ориентира приведены данные серийно выпускаемых винтовых конвейеров для транспортировки цемента (*таблица 3.3.1-1*).

Параметры	Тип конвейера											
	Ш2-00				Ш3-00				Ш4-00			
Диаметр винта, мм	200	300	400									
Обороты об/мин	23,6	37,5	60	95	23,6	37,5	60	95	23,6	37,5	60	
Производительность м ³ /час (по цементу)	2,2	3,4	5,4	7,6	7,2	11,4	18,4	30	17,7	28,2	45	
Мощность эл. двигателя на каждые 10 пог. метров длины (по цементу), кВт	1	1	1,7	1,7	1,7	2,8	4,5	7	4,5	7	10	
Шаг винта, мм	160				240				320			
Ориентировочный вес 1 пог. м конвейера (без привода), кг	58				111				145			
Стандартная длина секции желоба, м	2,0				2,0				3,0			

Таблица 3.3.2-1

Замечу только, что для практических нужд прежде всего исходят из имеющегося в наличии шнека – это самая дефицитная часть. Отталкиваясь от его геометрических параметров, выстраивают и весь остальной расчет.

При всей кажущейся экзотичности, шнеки очень распространены в народном хозяйстве. И в первую очередь в сельскохозяйственной технике. В каждом комбайне, например, десятки шнеков различных размерностей. Практически все они подходят для изготовления винтового транспортера по перемещению цемента.

Использование «сельскохозяйственных» шнеков существенно удешевляет конструкцию. Их ориентировочная цена – 5–10 дол./пог. метр. Это на порядок дешевле специализированных строительных изделий при сопоставимом ресурсе.

3.3.3 Специализированное оборудование для хранения и транспортировки цемента

Как показала наша практика, очень удобными для качественного хранения без значительной потери активности и порционной выдачи цемента являются специализированные емкости со шнеками на дне. Это специальной формы бункера, вмещающие 8–10 т цемента. Их форма выполнена таким образом, что расположенные внизу два шнековых транспортера самозагружаются без посторонней помощи и обеспечивают практически полную разгрузку бункера без какого-либо дополнительного аэрирования. (Каждый цикл выгрузки с исполь-

зованием воздуха снижает активность цемента примерно на 8–15 %, как после месяца хранения.)

Такие цементные бункера работают в составе специализированных комплексов, например, по тампонированию скважин (во всяком случае, наш был именно оттуда). Аналогичные применяются для транспортировки и раздачи комбикормов на птицефабриках. Если есть возможность, нужно обязательно присмотреться к ним – часто они просто валяются на машинном дворе ближайшего колхоза.

Одно время мы активно использовали подобный бункер для хранения и выдачи цемента прямо на стройке. «Автомобильные» габариты позволяют легко транспортировать его в кузове грузовика. На стройке он устанавливается крапом на блоки в удобном месте. Приходит автоцементовоз и выдувается в бункер. Шнеки приводятся во вращение отдельным электродвигателем с редуктором. Включается мотор, и порция цемента высыпается прямиком в бетоносмеситель. Достаточно точную дозировку можно осуществить, считая обороты шнека.

После окончания работ бункер легко демонтируется и перевозится на новое место.

3.3.3.1 Спиральный перегрузчик цемента

(Приведено по материалам, впервые опубликованным в «Сборнике материалов по обмену опытом в строительстве. Новое в производстве строительных материалов. Бюллетень строительной техники № 18, 1956 г.». Инж. Дидык В. П., СМУ Минпищепрома.)

Погрузка и разгрузка таких материалов, как цемент, гипс и известь-пушонка, транспортируемых без тары (навалом), весьма затруднительна.

При обычных способах работ на месте погрузки и разгрузки наблюдается большое распыливание тонкомолотых материалов.

Автором предложен простой способ механизированной погрузки и разгрузки тонкомолотых пылевидных материалов при помощи спирального перегрузчика.

Установка (рис. 3.3.3.1-1) состоит из гибкой стальной спирали, резинового шланга, трансмиссии и электромотора. Цилиндрическая спираль из арматурной стали диаметром 4–8 мм вводится в гибкий шланг. Диаметр шланга назначается в зависимости от требуемой производительности и условий работы.

Шаг витков спирали равен 0,8 диаметра шланга, а диаметр спирали на 4–6 мм меньше диаметра шланга – для образования зазора между витками и стенками шланга в целях уменьшения влияния трения. Стальная спираль приводится во вращение электромотором через ременную или клиноременную передачу. На рис. 3.3.3.1-1 приведен наиболее простой вариант узла крепления спирали при односторонней работе установки.

Шланг длиной 7–8 м, диаметром от 50 до 100 мм надевается на стальной патрубок и прикрепляется к нему хомутом при помощи болта. На патрубок надет

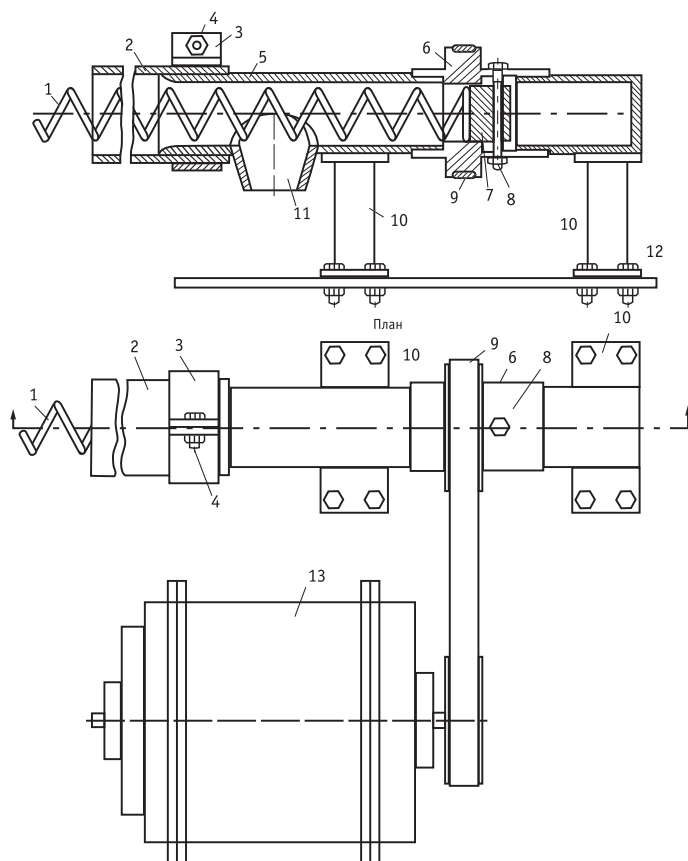


Рис. 3.3.3.1-1 Деталь крепления опирали при односторонней работе установки (разрез по 1 – 1): 1 – спираль; 2 – шланг; 3 – хомут; 4 – болт; 5 – патрубок; 6 – шкив; 7 – хвостовик; 8 – болт; 9 – ременная передача; 10 – стойки; 11 – выпускное отверстие; 12 – станина; 13 – электромотор.

шкив, который передает от электромотора вращение на спираль (через ременную передачу).

Шкив прикреплен к хвостовику болтом, а хвостовик приварен к спирали. При вращении шкива вращается и спираль стойки. Патрубок опирается на две стальные стойки; одним концом они приварены к патрубку, а вторым прикреплены болтами к станине.

В патрубке имеется отверстие для выгрузки цемента.

Вариант узла простого крепления спирали при двусторонней работе показан на рис. 3.3.3.1-2.

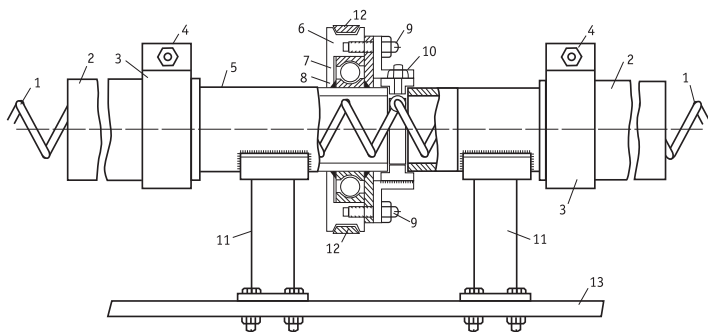


Рис. 3.3.3.1-2 Деталь крепления спирали при двусторонней работе установки: 1 – спираль; 2 – шланг; 3 – хомут; 4 – болт; 5 – патрубок; 6 – шкив; 7 – подшипник; 8 – сальники; 9 – болт; 10 – болт с ушком; 11 – стойки; 12 – ременная передача; 13 – станина.

На *рис. 3.3.3.1-2* видно, что при соединении двух патрубков имеется зазор 3–4 мм. Этот зазор снизу по периметру патрубков перекрыт втулкой. В верхней части втулки проходит болт с ушком для спирали; втулка болтами крепится к шкиву, вращающемуся на шарикоподшипниках. Шкив при помощи ременной передачи электромотором приводится в движение. В остальном устройство установки такое же, как и при односторонней работе.

Детали узла перегрузки с одной установки на другую приведены на *рис. 3.3.3.1-3*.

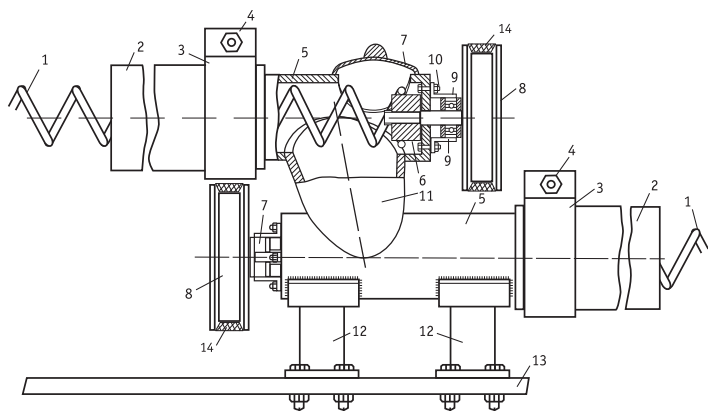


Рис. 3.3.3.1-3 Деталь крепления спирали при перегрузке пылевидных материалов: 1 – спираль; 2 – шланг; 3 – хомут; 4 – болт; 5 – патрубок; 6 – хвостовик; 7 – ось шкива; 8 – шкив; 9 – подшипники; 10 – болт; 11 – отверстие; 12 – стойки; 13 – станина; 14 – ременная передача.

Производительность в м ³ /час	Диаметр шланга в мм	Диаметр спирали в мм	Диаметр проволоки для спирали в мм	Шаг витка спирали в мм	Количество оборотов спирали в мин.	Мощность мотора в кВт	Длина шланга в м
1,0 – 1,5	50	44–46	5–8	40–50	500–700	0,5–1,0	4–8
6,0 – 8,0	75	64–68	8–10	60–70	500–700	1,0–1,5	

Таблица 3.3.3.1-1

Основное отличие узла заключается в том, что вращающийся на шарикоподшипниках хвостовик соединен с осью шкива, а к хвостовику приварена спираль. При вращении шкива вращается хвостовик и приводит в движение спираль. В патрубке имеется отверстие, через которое цемент или другой сыпучий материал попадает на патрубок второй установки, расположенной ниже, под первой.

На основании наблюдений за работой установки и отдельных экспериментов составлена *таблица 3.3.3.1-1* основных показателей.

Из таблицы видно, что с увеличением диаметра шланга повышается производительность установки. Однако на основании опыта установлено, что при большом диаметре шлангов работать труднее, – целесообразнее иметь несколько установок с диаметром шлангов 75–100 мм, чем пользоваться установкой с диаметром шлангов более 100 мм.

Опыты показали, что перемещение влажных материалов при длине шланга 4–8 м происходит с большим напряжением для спирали, поэтому влажные материалы перемещать не рекомендуется. Начальное усилие, возникающее на спирали при заборе и перемещении сыпучих материалов, весьма значительно; закреплять спираль непосредственно на оси электромотора не следует, так как в этом случае может произойти ее поломка в месте закрепления на оси мотора; усилие от мотора лучше передавать на спираль через ременную передачу. Это особенно важно при небольших диаметрах шланга.

При помощи установки можно подавать сыпучие материалы не только по горизонтали, но и по вертикали, при этом необходимо увеличить число оборотов спирали до 800–1000 об/мин. Высота подъема зависит от прочности спирали.

Опыт показал, что при изготовлении спирали из полосовой стали 5х15 и 5х18 мм при равных условиях повышается производительность установки на 35–40%.

Установки по выгрузке цемента с автомашины на склад и перемещению цемента со склада к дозирочному ящику растворомешалки работали в Москве на строительстве жилого дома. Они были изготовлены непосредственно на стройке.

Изготовить спираль на строительстве можно без особого оборудования – путем навивки проволоки на круглый сердечник (по предварительно заданному ди-

аметру требуемой спирали); после снятия спирали с сердечника ее равномерно растягивают до заданного шага витков.

При изготовлении спирали необходимо соблюдать равномерность шага витков – в противном случае в шланге может создаться пробка из сыпучего материала при вращении спирали.

Приведенная установка изготовлена по упрощенному варианту, так как она предназначена для погрузки и разгрузки цемента на небольших строительных объектах.

3.4 Улучшение характеристик тяжелых и ячеистых бетонов минимизацией в них усадочных явлений

3.4.1 Усадочные явления, сопровождающие твердение цементного камня

При схватывании и твердении портландцемента происходит уменьшение объема тела гидратирующегося вяжущего.

Для того чтобы уяснить причины и условия появления усадки цементного камня, рассмотрим процесс твердения цемента, затворенного на оптимальном количестве воды.

На *рис. 3.4.1-1* приведена схема структуры цемента в процессе твердения (Ц – частицы клинкера, еще не до конца гидратированные, в момент, когда объем этих частиц значительно уменьшился по отношению к начальному объему, показанному пунктиром). Частицы Ц окружены диффузным слоем чистой воды (свободным от растворимых солей). Через этот слой в процессе растворения непрерывно выбрасываются гидрагированные ионы и молекулы клинкерных солей, которые переходят в область твердеющего цементного камня и оседают на ближайшем из растущих кристаллических новообразований последнего.

Те кристаллы новообразований, которые расположены дальше от частицы Ц клинкера, вскоре перестают расти вследствие недостаточного притока новых ионов. Эти кристаллы образуют поверхностный слой цементного камня, играющий роль защитной корки вокруг продолжающих гидратироваться зерен клинкера; корка прорезана тонкими капиллярными каналами (*рис. 3.4.1-2*).

Кристаллы новообразований связаны между собой водой кольцевых контактов, которая осуществляет весьма интенсивное капиллярное сжатие частиц. Вследствие малых размеров отдельных кристаллов это сжатие очень велико. Оно еще больше увеличивается постоянно действующим отсасывающим осмотическим давлением диффузной зоны вокруг гидратируемых зерен клинкера.

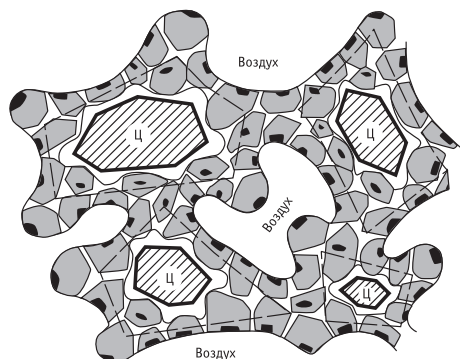


Рис. 3.4.1-1 Структура твердеющего цементного камня.

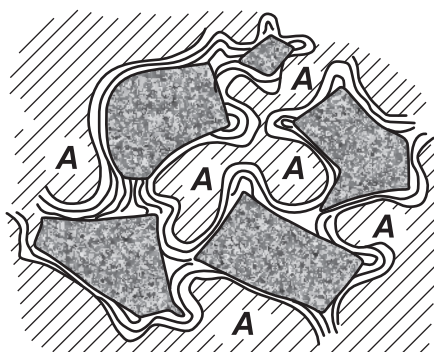


Рис. 3.4.1-2 Капиллярные каналы А в зонах между коллоидными частицами новообразования гидратированного цемента.

Нужно иметь в виду, что в процессе схватывания и твердения цемента общий объем реагирующих веществ уменьшается, так как молекулы воды, входящие в состав гидросиликатов и гидроалюминатов кальция, расположены значительно плотнее, чем в свободном состоянии. Поэтому начальный объем цементного теста, равный

$$Ц + B + в$$

в процессе гидратации уменьшается до

$$Ц - Ц_z + (Ц_z + B_z)K + B - B_z + в = Ц + B + в - (1 - K)(Ц_z + B_z)$$

где:

$Ц_z$ – объем цемента, гидратированного к рассматриваемому моменту;

B_z – вода гидратации этого цемента;

$в$ – воздух;

K – коэффициент меньше единицы, характеризующий увеличение удельного веса новообразований по отношению к среднему удельному весу образовавших их материалов

Таким образом, процесс схватывания, а затем твердения цемента сопровождается непрекращающимся сжатием зерен новообразований, создающим общее уменьшение объема цементного камня. Это уменьшение называется усадкой бетона и может происходить по двум совершенно различным причинам:

1) из-за уменьшения действительного объема новообразований по сравнению с исходными материалами (химическая усадка);

2) из-за уменьшения объема цементного камня вследствие потери влаги в атмосферу и капиллярного сжатия частиц новообразований в результате отсоса (физическая усадка).

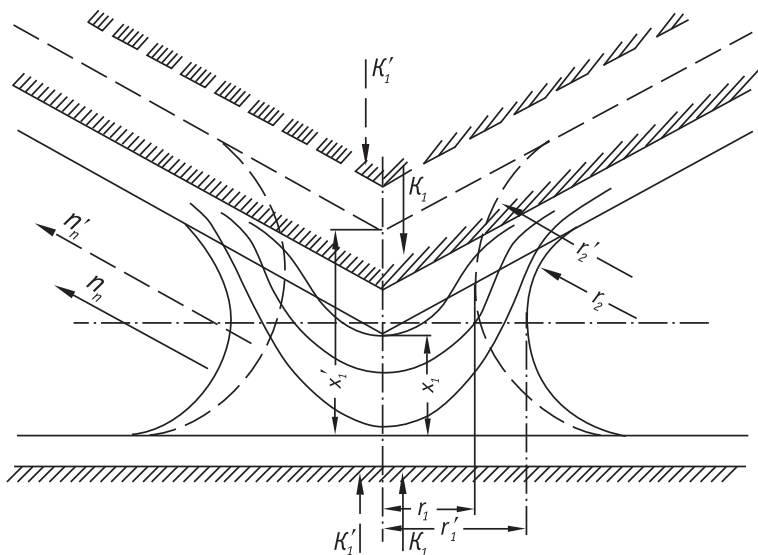


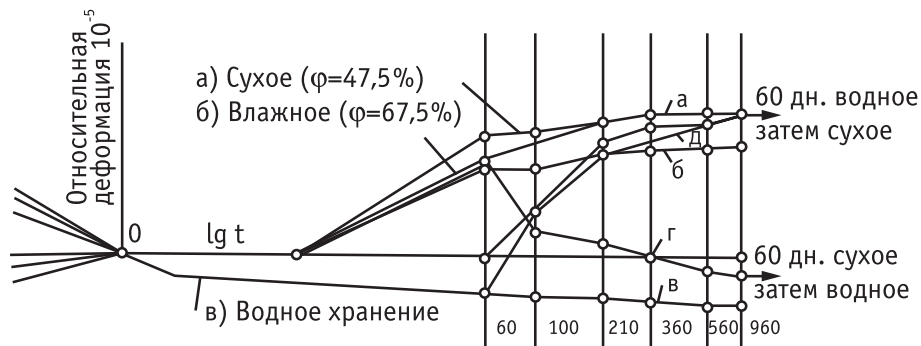
Рис. 3.4.1-3 Схема взаимодействия в капиллярном контакте двух коллоидных частиц цементного камня.

Первая причина проявляется особенно сильно в первые дни, вторая – в течение нескольких месяцев.

Итак, усадка бетона является непосредственным следствием самого процесса схватывания и твердения бетона. Однако размеры физической усадки существенно зависят от влажностных условий среды, в которой протекает твердение бетона. Среда не меняет процесса нормальной усадки, если ее влажность находится в постоянном равновесии с жидкостью, имеющейся в цементном камне; это равновесие регулируется формой свободной поверхности жидкости, то есть ее кривизной в порах новообразований (рис.3.4.1-3).

Из предыдущего видно, что изменение размеров кольцевого контакта вследствие отсоса воды в диффузный слой и сжатия зерен цементного камня капиллярными силами происходит непрерывно, следовательно, так же непрерывно меняется в сторону увеличения среднее значение кривизны поверхности жидкости в порах системы.

Если в какой-то начальный момент влажность среды и содержание воды в цементном камне определялись состоянием равновесия, то в следующие моменты равновесие нарушается, и должна происходить конденсация влаги, что задерживает увеличение капиллярного сжатия частиц и тем самым уменьшает размеры усадки. Если приток влаги из воздуха среды обеспечен, то может иметь место непрерывная и при этом полная компенсация усадочного сжатия.



Примечание:

Кривая *в* характеризует изменение полной деформации бетона ($R=250 \text{ кг/см}^2$, содержание цемента в 1 м^3 бетона 300 кг) при хранении в течение 960 дней в воде, кривая *г* — деформации бетона при хранении в течение 60 дней на воздухе и 900 дней в воде, кривая *д* — деформации бетона при хранении в течение 60 дней в воде и 900 дней на воздухе. Кривые *а* и *б* характеризуют изменения деформации при обычных условиях твердения бетона в сухом и влажном воздухе; для этих двух случаев усадка меньше, чем для случая кривой *д*.

Рис. 3.4.1-4 Усадка цемента при различных режимах выдерживания образцов в процессе твердения.

При хранении образцов твердеющего бетона в воде неограниченный приток воды может компенсировать усадку и даже вызвать разбухание бетона, но при этом неминуемо увеличатся размеры пор и каналов системы, которые заполнятся водой. Если такую систему поместить в среду с малой влажностью, то бетон быстро отдаст свою воду (вследствие наличия широких каналов) и получит усадку большую, чем это могло бы быть при нормальных условиях твердения.

Наоборот, если сразу с момента начала схватывания и твердения нет равновесия между влагой среды и влагой бетона (причем влажность среды мала), то бетон будет отдавать влагу в среду тем энергичнее, чем крупнее поры новообразований. В этом случае будет происходить интенсивная усадка, связанная с уменьшением содержания влаги у контактов. Если среда очень сухая, а поры широкие, то обезвоживание бетона произойдет настолько быстро, что воды окажется недостаточно для снабжения диффузного слоя гидратируемых частиц клинкера, и схватывание бетона вовсе прекратится.

При этом будет иметь место очень большая усадка бетона, происходящая преимущественно вследствие капиллярного сжатия, а не из-за интенсивного образования цементного камня. Отсюда видно, насколько важно удерживать в бетоне оптимальное количество воды, особенно в начальные сроки схватывания и твердения.

Бетон даст большую усадку при его хранении в обычных условиях после длительного водного хранения по сравнению с таким же бетоном, с самого начала твердевшим в обычных условиях (рис. 3.4.1-4).

Уменьшение объема исходных материалов клинкера вследствие образования гидросиликатов и гидроалюминатов кальция может быть оценено, по дан-

ным Ле Шателье (подтвержденным многочисленными последующими исследованиями), в $4\text{--}5\text{ см}^3$ на 100 г цементного клинкера в продолжение месячного твердения. Если, учитывая водное хранение, предположить, что в течение этого времени цемент гидратировался на 50 %, то полная возможная усадка бетона в результате химической реакции может составить 2–3 % от общего объема клинкерных материалов.

Такое чрезвычайно большое изменение действительного объема цементного камня может быть обнаружено, если образец насыщенного водой теста (из которого удален воздух) поместить в герметическую форму. Под влиянием уменьшения действительного объема и сцепления со стенками формы возникают столь большие силы растяжения, что они могут разрушить форму.

Наблюдения за объемными изменениями цементного теста в течение первых часов твердения показывают, что уменьшение линейных размеров образца из цементного теста достигает в суточном возрасте для силикатного цемента (портландцемента) 1 %, а для глиноземистого (алюминатного) цемента – 0,7 %.

Это подтверждает высказанные выше соображения, что химическая усадка во много раз превышает размеры возможной физической усадки в результате капиллярного стягивания частиц.

Ввиду того, что цементы обычно применяются в растворах или бетонах, внешнее проявление усадки этих систем существенно меньше усадки самого цемента в связи с тормозящим действием заполнителей. Однако размер усадки цемента, содержащегося в бетоне, остается на прежнем уровне, в силу чего в каждой пазухе между заполнителями возникают большие растягивающие напряжения в цементном камне, приводящие к появлению в нем микротрещин.

Существование таких внутренних разрывов ведет к тому, что вода при низком давлении и даже под влиянием собственного веса легко проходит сквозь бетон.

Последствия усадки цемента можно наблюдать при заделке цементным тестом фонтанирующих щелей и трещин. Вследствие усадки тело цементного камня заделки либо пересекает новая трещина, либо такая трещина возникает в месте примыкания заделки. Невидимая на глаз щель легко обнаруживается при подаче к заделке воды, которая тотчас же просачивается в виде капель или струек.

Из-за неустранимости усадки все растворы и бетоны принято считать водопроницаемыми.

Усадка бетона является отрицательным фактором для таких железобетонных сооружений (особенно гидротехнических, мостовых, дорожных), в которых требуется водонепроницаемость и долговечность, а также для сооружений, работающих под динамической нагрузкой.

В железобетонных конструкциях усадка вызывает появление в растянутой зоне бетона больших напряжений и преждевременных трещин, которые в гидротехнических сооружениях приводят к фильтрации воды, а в резервуарах –

к утечке помещенной в них жидкости. В мостах из-за усадки по причине вибрации происходит раскрытие трещин, увеличение прогибов и быстрое разрушение арматуры от коррозии. Явления усадки затрудняют замоноличивание сборных железобетонных конструкций в единую жесткую систему. Усадка бетона вместе с деформациями от температурных воздействий приводит к растрескиванию дорожных бетонных покрытий и быстрому изнашиванию дорог.

Усадка бетона лишает возможности полноценно закрепить машины на фундаментах; даже при тщательной подливке бетона под плиту машины и вокруг фундаментных болтов в результате усадки связь нарушается, и машина может быстро выйти из строя вследствие свободной вибрации.

Возникают большие затруднения в уплотнении и придании водонепроницаемости швам бетона и возникшим трещинам в бетонных сооружениях, так как после заделки их обычным цементом не достигается плотность из-за неминуемой усадки и отделения раствора от одной из примыкающих поверхностей. Заделка обычным цементом всяких каверн, трещин и щелей в подземных сооружениях или в сооружениях, предназначенных для эксплуатации под давлением воды, особенно при интенсивном ее притоке, в большинстве случаев из-за усадки не будет полноценной. В связи с этим большие сложности возникают при гидроизоляции мокнущих (фильтрующих) поверхностей, поскольку в мокром состоянии они делают невозможной наклейку на них рулонных изоляционных материалов, а высушивание сопряжено с серьезными затруднениями.

3.4.2 Дискуссия в Интернете по добавкам – компенсаторам усадки

В течение многих десятков лет, с тех пор, как была изучена усадка цемента и оценены вредные ее последствия, научная мысль упорно работала над способами устранения усадки или смягчения ее последствий. Ученые постоянно бились над поисками неких модифицирующих добавок, способных если не устранить, то хотя бы минимизировать усадочные явления в цементном камне. Насколько они в этом преуспели, раскрывает дискуссия, состоявшаяся в свое время на одном из строительных форумов в Интернете.

А. Смородинский

Уважаемый Сергей, производит ли кто-нибудь добавки для компенсации усадки бетона?

Сергей Ружинский

Добавок, предотвращающих или хотя бы снижающих усадочные деформации бетона, не может быть в принципе. Кто их предлагает, ведет, мягко говоря,

не совсем корректный бизнес. Ведь гидравлические вяжущие, к коим относится и цемент, дают усадку при твердении. И никуда от этого не деться.

В бетоноведении существуют два пути минимизации усадки при твердении.

Первый – это применение специальных безусадочных и расширяющихся цементов.

Второй – минимизация количества цемента в бетоне и растворе, благодаря чему минимизируются усадочные деформации, вызываемые твердеющим цементом. Второй путь достаточно просто реализуется при помощи пластификаторов и суперпластификаторов. Ведь зачастую передозировка цемента, абсолютно не регламентируемая прочностными показателями и необходимая только для обеспечения удобоукладываемости и реологии, легко компенсируется пластификаторами.

Проблема усадочных трещин остро стоит при монолитно-каркасном домостроении, и именно при помощи пластификаторов, суперпластификаторов, гиперпластификаторов-карбоцептов вкупе с замедлителями схватывания и ускорителями твердения она решается весьма эффективно.

С уважением, Сергей Ружинский.

Павел

Добрый день! Уважаемый г-н Ружинский! Отечественных работ в области компенсаторов усадки, «мягко говоря», много, предлагаю ознакомиться с работами Г.В. Несветаева (Ростовский Государственный строительный университет) и др. Кроме того, суперпластификаторы, в зависимости от химической природы, могут даже увеличивать деформацию усадки. Поликарбоксилатный гиперпластификатор *Melflux 100 F* снижает усадку не только за счет снижения В/Т, но и воздействует на контракционную (химическую) усадку (сие, возможно, зависит и от происхождения цемента). На Западе, кроме введения в систему «расширяющихся» элементов (моносulьфоалюмината кальция, сочетания глиноземистого цемента с гипсом и т.д.) – компенсаторов 1 типа, практикуют добавку таких продуктов, как *Metolat 861, 871* (второй тип), представляющих собой системы диолов и воздействующих на влажностную составляющую усадки (НИИСтром, Ю.В. Гонтарь). Минус добавок первого типа – чувствительность к химическому составу цемента, второго – дороговизна и высокие дозировки. Сочетание обоих видов компенсаторов усадки и позволяет получить такой вид продукции, как самонивелирующиеся полы.

С уважением, Василий Павел, ЗАО «ЕвроХим-1».

Сергей Ружинский

Здравствуйте, господин Василий Павел!

По отдельным позициям Вашего сообщения не могу согласиться.

В частности, по «компенсаторам усадки», как Вы их называете. Эти компенсаторы правильнее было бы отнести не к индивидуальным добавкам, а к неким технологическим приемам, помогающим минимизировать или даже вовсе исключить кантракцию цемента и, соответственно, усадку, вызываемую ею.

Действительно, как Вы точно подметили, научных трудов по данной теме уйма. Конкретных практических рекомендаций, претворенных в жизнь, более 40. Но все они рассчитаны на очень квалифицированное применение. Согласитесь, трудно назвать добавкой (в общепринятой терминологии химических добавок для бетонов и растворов) некое вещество, которое в строго ограниченной дозировке необходимо ввести в цементный клинкер, а затем перемолоть. Еще труднее назвать добавкой состав, например, из четырех компонентов индивидуального и строго специального введения, да еще при условии, что процентное их соотношение всякий раз необходимо пересчитывать по сложным теххимическим формулам в зависимости от минералогического состава цемента.

(Я готовлю обзор по данной теме, скоро он здесь появится, поэтому не буду дальше детализировать.)

Что же касается рецептур сухих строительных смесей, к которым Вы апеллируете, то да, абсолютно с Вами согласен, в них содержатся как специальные добавки, уменьшающие усадку, так и предусмотрены меры, уменьшающие ее косвенно – специальные цементы, контроль за их алюминатностью, тониной помола и количеством гипса, пластификаторы, микропенообразователи, ускорители, оптимизация гранулометрии заполнителей и т.д. Но все это «в одном флаконе», в форме законченного продукта, к которому потребителю нужно только добавить воды. И для обеспечения необходимых потребительских качеств над рецептурой такого «флакона» очень тщательно поработали специалисты.

И недаром «компенсаторы усадки» (или что то похожее) совершенно отсутствуют в перечне химических добавок для бетонов и растворов общестроительного применения. Еще одно подтверждение вышесказанного – ни один из именитых производителей добавок не предлагает подобные составы в качестве самостоятельной товарной позиции для общестроительного универсального применения.

Но в качестве спецпредложения для сухосмесителей подобные вещества на рынке присутствуют. И они не редкость (цианиды, например, тоже широко применяются в промышленности, но никто еще не додумался пустить их в открытую продажу – чрезвычайно ядовиты).

Да и в перечне товаров, предлагаемых вашей организацией, вещества, которые позиционировались бы именно как «компенсаторы усадки», отсутствуют. Или мои сведения устарели? Тогда просветите старика, может быть, я действительно чего-то не понимаю, а скорее, отстал от жизни. Я готов ксерокопию любой из почти 500 книг по бетоноведению и химическим добавкам, имеющихся

у меня, обменять на аналогичную литературу по новейшим разработкам в области «компенсаторов усадки».

С уважением, Сергей Ружинский, Харьков, МП «Городок».

Павел

Здравствуйте, уважаемый господин Ружинский!

Вся ярость вашего письма направлена, как ни странно, на то, что в ГОСТе 24211-91 отсутствует такое понятие, как «компенсатор усадки». Опытный завод НИИЦемент, он же Цемдекор, он же ООО ОЗГ более 5 лет производит *РД* (расширяющаяся добавка) – на нем многие годы успешно делают НЦ. Тел. 500-0920. Проблема при использовании данной добавки – привести конечную величину деформации (в 28 дн.) к нулю. Сделать расширяющийся цемент или напрягающий, или частично компенсировать – не думаю, чтобы возникли большие проблемы.

Неплохо сия тема описана в книге «Добавки в бетон. Справочное пособие» под редакцией В. С. Рамачандра. Москва, Стройиздат, 1988 г., стр. 435. Надеюсь, что ксерокопия этой книги уже имеется в Вашей библиотеке. Готов выслать Вам и прайс-лист, и бесплатный образец того самого пресловутого компенсатора влажностной усадки.

А квалифицированное применение необходимо даже при приеме водки...

С уважением, Василик Павел.

Валера

Здравствуйте, господин Ружинский. Я как практик пока не встречал нормальных отечественных материалов. Да, я работал харьковским ноу-хау на основе растущих кристаллов, но процесс роста неконтролируемый, поэтому получается брак. Работаю релаксолом, но он не доработан под ремонт бетона, а как добавка в бетон хорошая. Я считаю, что многие отечественные добавки были опробованы только в институтах. На производствах никогда не было хороших, дорогих мельниц и сит. На весь Харьков есть одна мельница, да и та на З-де Малышева. Да и класс рабочих не позволяет делать смеси на объектах – сейчас другое время и другие рабочие. Безусадочным раствором работаю 5 лет, и при одноразовом нанесении 300 мм он не дает трещин, только дает марку 300, а делается не на Малой Арнаутской, а в Канаде.

Валера

Сергей Ружинский

Здравствуйте, господин Василик!

Хотел бы Вас предостеречь. Читать переводную литературу по химическим добавкам в строительстве нужно весьма и весьма критично. И желательно

предварительно ознакомиться с отечественными исследованиями по данному вопросу. Во всяком случае, для первоначального знакомства с темой, да еще неподготовленному читателю, эта книга не годится. Таково мое мнение.

Я не имею ничего против глубоко уважаемого мною господина Рамачандрана. Как и против представляемых им канадской и штатовской школ. Но... Как бы это сказать... Все-таки информация подобного плана – это коммерческая информация. За одной цифрой порой стоит многолетний труд исследователей и ученых. И глупо было бы надеяться получить результаты подобных исследований бесплатно (это только наши могут отдаться с потрохами, лишь бы за границей пропечататься). А уж если что то и раскрывается, то в такой завуалированной форме, что как раз и необходим этот стартовый капитал знаний, чтобы разобраться.

Что касается расширяющихся добавок, то нет в этой книге абсолютно ничего нового. У Волженского в его учебнике для вузов примерно все то же самое, но гораздо понятней. И не зря, наверное, «Добавки в бетон» Рамачандрана практически нигде не цитируется. То ли из-за малого тиража, то ли по другим причинам.

Всем, кто заинтересовался темой расширяющихся добавок, я бы посоветовал начать с другой литературы. Например:

1. Мчедлов-Петросян О. П. Расширяющиеся составы на основе портландцемента. Химия и технология. Москва, Стройиздат, 1965 г., стр. 139. Ссылки на 300 источников.
2. Шейкин А. Е. Безусадочный портландцемент. Состав, получение, свойства и область рационального применения в строительстве. Москва, Стройиздат, 1966 г., стр. 103. Ссылки на 105 источников.

В этих книгах, помимо глубокого, но ясного и понятного освещения теории вопроса, приводятся и конкретные рекомендации – где, чего, куда и сколько. И что из всего этого получится.

В первой исследуется практическая реализация расширяющихся составов на основе алюминиевого порошка. С подробнейшим описанием химизма и рецептуры, вплоть до временных ТУ на изготовление и применение таких составов.

Во второй – расширяющийся реагент – известь и ... (этого, кстати у Рамачандрана и в помине нет – ну не уважают они наших классиков) кремнийорганическая жидкость ГКЖ-94. Не удержусь, приведу пример.

«При имитации косо́го дождевания стык между панелями, заделанный обычным раствором, пропустил воду через 5 минут. С добавкой в раствор состава Шейкина и через 48 часов признаков фильтрации влаги обнаружено не было».

Эти книги помогут также уяснить одну главную мысль: «химичить» с расширяющимися добавками можно. Но очень сложно. И чревато. Элементарнейшая передозировка – и все, получили саморазрушающийся бетон. Потому то они и не

разрешены к применению на уровне строительного законодательства. Но разрешены специальные цементы – безусадочные и напрягающие. И все потому, что под контролем заводской лаборатории можно эти расширяющиеся добавки в цемент положить и не перейти грань дозволенного. А на стройке кто их будет дозировать?

Что же касается расширяющейся добавки, которую Вы мне обещаете выслать, так увольте, не нужно. Эка невидаль. Да чтоб Вы знали, все экспериментальные цементные заводы их обычно делают. И наш в Харькове их делал всю жизнь. И всю Украину снабжает. Но только не добавками, а уже готовым расширяющимся и безусадочным цементом на их основе – они хотят спать спокойно.

P.S. Учитывая огромный интерес (еще бы, такие фундаментальнейшие исследования да на халяву, один новый взгляд на теорию морозостойкости чего стоит) западного бетоноведения к исследованиям отечественных ученых, наша современная литература по данной тематике выходит уже сразу на двух языках. Полстраницы на русском, рядом то же самое на английском. Читать неудобно, но гордость прямо распирает. *Файнер М.Ш. «Новые закономерности в бетоноведении и их практическое приложение» / «New tendencies concrete studies and their practical application». Киев, Наукова думка, 2001 г., 447 стр., цена \$85*

С уважением, Сергей Ружинский, Харьков, МП «Городок».

Сергей Ружинский

Здравствуйте Валера!

Харьков и харьковская школа в бетоноведении занимает не последнее место. И вполне Вы могли каким-либо образом получить разработку, не доведенную до серийного уровня – продукт научных изысканий. Но мы тут как раз дискутируем. И я утверждаю, что расширяющиеся добавки в качестве самостоятельной товарной позиции в построечных условиях применять нельзя, а только в составе специальных составов, куда они вносятся под лабораторным контролем.

Вот Вы попробовали и убедились. А я вижу, что воюю с ветряными мельницами; ну кто не верит, пусть сам попробует – и всех делов-то.

По релаксолу.

Уже по тому, как Вы это слово написали, понятен источник Ваших проблем.

Запорожцы в свое время вот так ловко извернулись, а теперь нужно в сотый раз разъяснять. Релаксол – это не добавка. Релаксол – это торговая марка системы добавок. Бренд, как сейчас это называется. На самом деле, в этой системе добавок 22 штуки. Следом за словом Релаксол следует другое – Темп, Лидер, Спецдор, Универсал и т.д. Вот это второе, иногда еще и третье слово или цифра и определяют принадлежность добавки. Никто этого не знает, отсюда и вечная путаница.

Но по Релаксолу можно говорить очень долго, особенно в свете последних публикаций в центральной прессе. Но как бы там ни было, менеджмент у них поставлен блестяще. Учиться, учиться и еще раз учиться.

По мельницам, ситам и прочему – ну ничего не понял, честно говоря. На заводе Малышева делают танки. А мельницы есть (я так понимаю, цементные) на нашем опытном цементном заводе.

И сита есть, и фракционированные заполнители в Харькове делают, и даже аналог «нормального Вольского», и свой завод сухих смесей есть. И смеси делает хорошие, но дорогие, поэтому не покупают.

И вообще, если Вы уточните свои вопросы, я смогу ответить более подробно. С уважением, Сергей Ружинский, Харьков, МП «Городок».

Павел

Здравствуйте, уважаемый господин Ружинский. Подведем итог дискуссии по вашей фразе о невозможности существования компенсаторов усадки.

1. Компенсаторы усадки существуют в качестве торговой марки даже у нас, на территории СНГ (см. выше). И только после проверки конкретных торговых марок в аттестованных лабораториях можно делать безапелляционные заявления (а то можно и на суд нарваться).
2. Применение требует квалификации и укомплектованной бетонной лаборатории (Так кто ж об этом спорит? Без таких важных вещей вообще нельзя существовать, а вводить добавки на стройплощадке «на глаз» ведрами – это преступление!)
3. Я предлагал Вам на изучение компенсатор влажностной, а не контракционной усадки. Он работает не по принципу расширяющейся добавки. Продукт называется *Metolat 861*. Это не компаунд, он не многофункционален. Можете исследовать 1,6-гександиол (дозировка 0,1–0,5 % от массы цемента или 0,5–1,5 % на пескобетон). Обе добавки, к сожалению, работают при высоких дозировках.
4. Добавки для производства сухих смесей (в том числе и для самонивелирующихся полов) есть в свободной продаже, а производят сухие строительные смеси Ваши же коллеги (и не только из компаундов, и даже, бывает, хорошего качества). И к области космических технологий и ветряных мельниц это не относится.
5. Предлагаю Вам извиниться перед поставщиками компенсаторов усадки за фразу «Добавок, предотвращающих или хотя бы снижающих усадочные деформации бетона, не может быть в принципе. Кто их предлагает, тот, мягко говоря, ведет не совсем корректный бизнес».

С уважением, Василик Павел, ЗАО «ЕвроХим-1»

Сергей Ружинский

Очень интересный телефонный разговор у меня состоялся с начальником лаборатории одного экспериментального цементного завода по вопросу применимости выпускаемой ими расширяющей добавки (РД).

На мой вопрос о том кто и как часто контролирует качество (РД), она ответила, что контроль осуществляет только заводская лаборатория на соответствие заводскому ОТУ через каждые 4 т. (Цена добавки – 15 000 руб/т).

На мой, вопрос влияет ли качество заполнителей, а также качество и марка цемента на эффективность добавки (РД), она ответила, что да, влияет:

- заполнители должны быть чистыми от глинистых загрязнителей;
- цемент обязательно должен быть бездобавочный, желательно М500Д0;
- цемент весьма желательно должен быть тонкомолотый;
- крайне желательно, чтобы цемент был высокоалюминатным.

На мой вопрос, что будет, если неизвестно, сколько пуццолановых добавок в цементе и какие они, она ответила, что в этом случае обязательны лабораторные исследования, но в зависимости от вида и количества добавок может произойти саморазрушение бетона.

На мой вопрос, почему в рекламном проспекте на (РД) не оговорены эти обязательные требования к цементу, она ответила, что это и так все знают.

На мой вопрос, как узнать, высоко-, средне- или низкоалюминатный цемент, она посоветовала использовать цемент только гарантированного происхождения, и тогда о его алюминатности может сообщить заводская лаборатория цемкомбината-изготовителя.

На мой вопрос, кто исследовал и проверял (РД) на предмет заявленных характеристик и есть ли публикации по данной теме, она ответила:

- добавка изготавливается по традиционной классической технологии из сульфоалюминатного клинкера;
- добавку неоднократно применяли под контролем специалистов и лабораторной базы НИИЖБ-а для гидротехнического строительства в Москве;
- гарантированная эффективность добавки обязательно предполагает строгое соблюдение всех традиционных постулатов бетоноведения: контроль за минералогией цемента и гранулометрией заполнителей, соблюдением В/Ц, подготовкой основания и уход за уложенным составом.

На мой вопрос, где гарантия, что даже при выполнении всех требований стыки бетонных панелей, к примеру, с этой добавкой не потекут, она посоветовала мне купить безусадочный цемент и не морочить ей голову с этой добавкой. И вообще, они, мол, выпускают хорошую добавку. Закончила дама буквально следующими словами: «А остальное не мое дело».

Для справки, расценки харьковских строительных лабораторий:

- единичное типовое исследование песка, с выдачей заключения – от \$ 30;
- единичное типовое исследование марочности цемента, с выдачей заключения – от \$ 60;
- единичный подбор состава раствора или бетона – от \$ 200;

- исследование минералогии цемента – никто не берется;
- исследование алюминатности цемента – никто не берется.

Согласен, мнениями обменялись, пора подводить итоги. Я не стремлюсь вести спор ради спора, а постараюсь выразить свою точку зрения таким образом, чтобы она была понятна читателям форума и имела для них практическую пользу. Итак, в результате обмена мнениями выяснили, что:

Усадка в строительных композициях на основе цемента может возникать двояко. Из-за:

1. Действия капиллярных сил в процессе интенсивной потери влаги бетонной смесью на стадии набора прочности, после окончания процессов схватывания. Если динамика роста этих сил превышает скорость набора прочности бетоном, то возможны его деструктивные изменения, выражающиеся в образовании усадочных трещин, отслоений и т.д. Особенно это актуально для бетонных массивов с большим модулем поверхности – различного вида стяжки, бетонные полы, монолитное домостроение и т.д.

Традиционные меры борьбы с этим видом усадки (рекомендуемые отечественным и зарубежным классическим бетоноведением):

- оптимизация В/Ц любыми доступными способами (контроль за гранулометрией заполнителей, минимизация в них глинистых и илистых частиц, применение пластификаторов-водопонизителей);
- эффективная диспергация частиц цемента при помощи пластификаторов-разжижителей с низким «дзэта» потенциалом (суперпластификаторов);
- повышение пластической вязкости цементного клея, уменьшение расслаиваемости бетона и раствороотделения добавками-гидрофобизаторами;
- компенсация недостатка сверхмелкого наполнителя добавками-микропенообразователями;
- ускорение связывания свободной капиллярной влаги гидратными новообразованиями (применение тонкомолотых, быстросхватывающихся, высокоалюминатных и без добавочных цементов, а также ускорителей твердения, ориентированных на алюминатную составляющую цемента);
- использование свежих цементов, не потерявших активность от длительного хранения;
- предварительная механохимическая активация и диспергация цемента или водно-цементной суспензии в высокоэнергетических мельницах в присутствии ПАВ (приготовление вяжущих низкой водопотребности (ВНВ) в вибромельницах и дезинтеграторах);
- армирование и микроармирование конструкций;
- применение в составе бетонной смеси добавок, повышающих предельную растяжимость, прочность на растяжение и изгиб и адгезию к основанию (водорастворимые смолы и латексы);

- применение в составе бетонной смеси водоудерживающих добавок (метилцеллюлоза, карбоксилметилцеллюлоза, бентонит);
- осуществление надлежащих мер по уходу за бетоном и предотвращению преждевременного испарения из него влаги.

Проведение вышеприведенных мероприятий хоть и гарантирует результат, но весьма затратно и трудоемко. (К слову сказать, в высококачественных сухих смесях присутствует до 30 (!) различных модификаторов). Заманчиво было бы использовать некие составы, уменьшающие подобные хлопоты. И как показала дискуссия, разработки в данном направлении ведутся. О степени их успешности и действительной результативности можно будет судить только после комплексной и всесторонней их оценки организациями на то уполномоченными. Пока их можно рекомендовать только в категории «на свой страх и риск».

2. Природа твердения портландцементов предполагает также обязательную усадку, обусловленную химическими процессами образования гидратных новообразований и называемую контракционной. Величина этой усадки незначительна, и сказывается в первую очередь на пористости цементного камня и его проницаемости для влаги. В большинстве случаев ею допустимо пренебречь.

Но если это невозможно, поскольку

- конструкция будет работать под высоким гидростатическим напором воды;
- замоноличивание стыковых соединений высоконагруженных элементов сборного железобетона;
- недопущение снижения щелочности жидкой фазы цементного камня и развития коррозионных процессов в арматуре;
- недопущение вымывания водорастворимых соединений цементного камня и развития коррозионных процессов в бетоне;
- высокие требования к морозостойкости конструкции,

рекомендуется применять безусадочные цементы.

Если условия твердения бетона позволяют контролировать его расширение (армированный бетон или твердение в стесненных условиях), рекомендуется применять расширяющиеся цементы вплоть до напрягающих, позволяющих изготавливать самонапряженные конструкции.

Если стесненные условия твердения, в силу технологических особенностей ведения данного вида работ, обеспечить невозможно, но эксплуатационные требования обязывают устранить даже контракционную усадку (например, высоконагруженные полы в промышленности), рекомендуется применять слабо расширяющиеся цементы.

Как частный случай, следует рассматривать ситуации, когда значительную капиллярную усадку от высыхания проще и дешевле компенсировать при

помощи расширяющихся цементов и не обременять себя жесткими условиями соблюдения технологического регламента, оговоренными выше (см. п. 1).

С учетом всего вышесказанного, для получения расширяющихся составов на основе портландцементов в них вводят различные расширяющиеся добавки, как то:

1. добавки, выделяющие газы в щелочной среде:
 - перекись водорода+гипохлорид, порошкообразные алюминий, цинк, магний, а также кремнийорганические жидкости ГКЖ-94, ГКЖ-94М и ПГЭН (выделяют водород);
 - гидразин в присутствии активаторов (выделяет азот);
 - обезвоженный кокс и активированный уголь (выделяют воздух)
2. комплексные добавки, увеличивающие свой объем от взаимодействия друг с другом и практически не вступающие в химическое взаимодействие с минералами цементного клинкера:
 - железные опилки в смеси с хлористыми солями
3. добавки, увеличивающие свой объем и способные вступать в химическое взаимодействие с минералами цементного клинкера в присутствии влаги:
 - негашеная известь
4. добавки, вступающие в прямое взаимодействие с минералами цементного клинкера с образованием этtringита:
 - гипс;
 - сульфoалюминаты в различных модификациях.

Многолетние исследования ученых убедили их, что все эти добавки имеют разную степень эффективности, зависящую как от прогнозируемых факторов, так и от непрогнозируемых, а следовательно, и неконтролируемых. Но наибольшее влияние на неконтролируемость процессов расширения оказывает все же цемент – его минералогический состав, тонина помола, содержание пуццолановых, гидрофобных, гидрофобизирующих и пластифицирующих добавок, количество свободных щелочей и извести и т.д. Стремление свести к минимуму влияние неконтролируемых факторов и привело к созданию специальных цементов. В заводских условиях строго отмеренные дозировки расширяющихся добавок вводятся в строго определенный цемент. Лабораторный контроль позволяет выпускать продукцию с заранее известными характеристиками по расширению. А меняя дозировки в заводских условиях, можно легко получить все виды расширяющихся цементов.

Вне лабораторного контроля получить составы гарантированной и необходимой для данного вида работ степени расширения практически невозможно. Малейшая неточность – и вместо расширяющегося состава получается саморазрушающийся или наоборот.

Несколько научных школ в СССР (Мчедлова-Петросяна и Шейкина) пытались создать универсальные расширяющиеся добавки общестроительного применения. Их опыт еще раз убедил, что в экспериментальных условиях, под неусыпным контролем узких специалистов, применяя цементы с гарантированными характеристиками и с использованием лабораторной базы специализированных НИИ, результаты отличные. В случае же массового применения даже маловероятностный случайный брак многократно увеличивается, вследствие чего способен привести к катастрофическим последствиям. Потечет только один стык, подмоет только один тубинг из 80 000, уложенных в водовод, – и многомиллионный город останется без воды.

Кроме того, эксперименты ученых с различными добавками-регуляторами расширения цемента выявили еще одну очень неприятную их особенность: практически все они очень сильно сокращают время «живучести» бетонной смеси. Счет идет уже не на часы, а на минуты. Поэтому их необходимо отмерять и вводить непосредственно на месте работ, что, учитывая необходимую точность дозирования, практически невыполнимо в построечных условиях. Приготовление растворов смесей заранее и транспортировка их на объект в сухом виде предполагает обязательную сушку заполнителей, что трудоемко и экономически нецелесообразно.

Дозировки расширяющихся добавок, вводимых индивидуально в состав растворов и бетонов на портландцементе, по сравнению с дозировками других добавок велики – 5–10 % от массы вяжущего. Но если большинство других добавок даже в гораздо меньших концентрациях можно без проблем ввести в бетон в составе воды затворения, то в нашем случае это невозможно в принципе – добавки нерастворимы в воде. Для равномерного распределения расширяющегося компонента в бетоне приходится использовать специальные смесители – вихревые, резинобечаечные и вибросмесители. А это достаточно экзотическая и дорогая техника.

При изготовлении же готовых расширяющихся цементов, компоненты вводятся непосредственно в шаровую мельницу, измельчаются и смешиваются с портландцементом на стадии помола клинкера. Достичь их равномерного распределения в бетонной смеси становится гораздо проще и дешевле.

Учитывая все вышесказанное, добавки, регулирующие объемное расширение цементного камня как самостоятельный класс отсутствуют в перечне химических добавок общестроительного применения.

Кроме того, в официальном нормативном документе Украины «Правила применения химических добавок в бетонах и строительных растворах» ДБН В.2.7-64-97 (в России действует аналогичный, номер которого я не знаю, не путать с ГОСТ 24211-91 – «Добавки для бетонов и строительных растворов. Классификация») четко и однозначно сказано:

«2.4 Применение химических добавок, не приведенных в таблицах 1 и 2, и комплексных добавок, которые поставляются в готовом виде, допускается по-

сле проведения необходимых исследований, разработки и утверждения нормативно-технической документации в установленном порядке.

2.5 Применение добавки осуществляется после проверки ее на основной эффект согласно таблицы 3, который определяет ее оптимальную дозировку».

Иными словами, (согласно п.2.4) по результатам проведенных исследований, на уровне Госстроя должны быть приняты Технические Условия (ТУ) или Временные Технические Условия (ВТУ) с определенным сроком действия, на основании которых строители и проектировщики вправе применять ту или иную добавку, не внесенную в перечень разрешенных. В противном случае вся ответственность за возможные последствия применения неразрешенных добавок возлагается на строителей и проектировщиков на весь гарантийный срок эксплуатации зданий и сооружений.

А следующий пункт, 2.5, выставляет автоматический бюрократический барьер на все новые добавки, не внесенные как класс в настоящий стандарт до момента его смены. (Этот трюк призван защищать отечественного товаропроизводителя, и был впервые применен, кажется, французами.)

В связи со всем вышеизложенным прошу прощения у читателей данного форума за фразу сказанную мною в спешке, без серьезного обоснования ее мотивов:

«Добавок, предотвращающих или хотя бы снижающих усадочные деформации бетона, не может быть в принципе. Кто их предлагает, тот, мягко говоря, ведет не совсем корректный бизнес».

Прошу данную фразу читать в следующей редакции:

«Добавки, предотвращающие или хотя бы снижающие усадочные деформации бетона, еще не вышли из стадии научных исследований и отсутствуют в списке разрешенных к применению на уровне строительного законодательства. А учитывая всю степень сложности их грамотного применения, вряд ли когда-нибудь туда попадут».

Продавцы различных составов, именуемых «расширяющимися добавками», этот факт замалчивают (как и сложности, связанные с воспроизводимостью заявленных характеристик) и не несут никакой ответственности за конечный результат. Считаю такой бизнес некорректным и достойным разбирательства в соответствующих инстанциях. На Украине подобные процессы уже начались.

Всякое жонглирование никому не известными зарубежными добавками и экспериментальными составами безответственно, дезориентирует строителей и не несет никакой практической пользы».

С уважением, Сергей Ружинский, Харьков, МП «Городок».

Павел

Здравствуйте, уважаемый господин Ружинский. Ваш ответ достоин всяческих похвал. Концовка подкачала. Особенно «порадовал» постулат: «Всякое жонглирование никому не известными зарубежными добавками и эксперимен-

тальными составами безответственно, дезориентирует строителей и не несет никакой практической пользы». Не напоминает ли Вам это историю с «лже-науками» – генетикой и кибернетикой? Да не строители должны применять добавки, а ЗЖБИ, ЖБК, и только после лабораторной проверки. И это касается любых добавок.

Думаю, что древние правы: «Non Progredi – est Regredi» (лат. «Нет прогресса – это регресс»).

С уважением, Василик Павел.

3.5 Улучшение качества пенобетона в результате смены технологического регламента

3.5.1 Технологический регламент «баротехнология»

В традиционной технологии получение пенобетона происходит в результате смешения отдельно приготовленных цементного (цементно-песчаного) раствора и пены. Получаемая механическая смесь и образует материал, называемый пенобетоном.

Процесс смешения пены с цементным раствором очень капризен – при малейшем несоблюдении технологического регламента возможно разрушение пены и получение некачественного пенобетона.

В ходе дальнейшей модернизации технологического регламента приготовления пенобетона советскими учеными было предложено процесс перемешивания пены с вяжущим и заполнителем (песком, золой или др.) осуществлять в герметичном смесителе, допускающем создание внутри его избыточного давления. Пенобетонная смесь после перемешивания подвергается воздействию давления, в связи с этим новая технология получила название баротехнология (от «бар», международной единицы давления).

Когда газ (воздух) подвергается сжатию, то при повышении давления пузырьки сжимаются пропорционально величине избыточного давления. При сжатии пузырьки упрочняются. В таком состоянии пенобетонную смесь можно транспортировать на большие расстояния. Единственный допустимый способ транспортировки в этом случае – пневмоподача. Учитывая это, на втором этапе технологии герметичный смеситель выполняет функцию пневмокамерного насоса. Сырьевая поризованная смесь по выходе из растворопровода «распрямляется» из-за перепада давления.

Таким образом, принципиальное отличие от других технологий состоит в следующем: перемешивание массы происходит под избыточным давлением; затем пенобетонная масса подается по трубопроводу к месту разделки массива пеномассы. Основной объем пор образуется при выходе пеномассы из растворопровода в специальной насадке.

Конечной целью изобретенного способа является уменьшение теплопроводности бетона при его достаточной прочности в изделиях и обеспечение транспортирования пенобетона по горизонтали и на высоту, достаточную для монолитного строительства домов, зданий и сооружений.

Технически баротехнология реализуется тем, что смесь цемента, кремнеземистых компонентов, воды и пенообразователя сначала приготавливается в герметичном смесителе под избыточным давлением. При этом рабочий раствор пенообразователя подают в смеситель в первую очередь, после чего одновременно вводят минеральные составляющие смеси. После перемешивания пеномассы смеситель начинает работать в качестве пневмокамерного насоса, подающего по растворопроводу приготовленную пенобетонную смесь. Избыточное давление создается при помощи компрессора.

Ноу-хау баротехнологии пенобетона состоит в том, что в процессе выхода из растворопровода воздушные пузырьки пеномассы, находящиеся под избыточным давлением, расширяются пропорционально перепаду давления. Это новое техническое решение создает устойчивый потенциал предварительной поризации пеномассы за счет сжатия воздушной фазы пены.

Обжатие пены увеличивает толщину межпоровых перегородок, что уменьшает вероятность разрушения пеномассы в ходе ее перемешивания и при транспортировке по растворопроводу, чем обеспечивается большая целостность пор. А основной этап порообразования осуществляется при выходе смеси из растворопровода, где поры увеличиваются в размере пропорционально перепаду давления.

По заверениям разработчиков этой технологии, подобное конструктивно-технологическое решение, помимо совмещения нескольких технологических операций, позволяет существенно повлиять и на свойства конечного продукта, обеспечивая получение пенобетона с лучшими характеристиками как по прочности, так и теплопроводности.

Теоретической основой баротехнологии пенобетона является физический закон изотермического процесса в идеальном газе, соответствующий закону Бойля-Мариотта. Для данной массы газа при постоянной температуре численное значение произведения объема на давление есть величина постоянная. На этом принципе построена вся теория баротехнологии пенобетона.

В настоящий момент накопленные статистические материалы не позволяют однозначно утверждать, что данная технология потенциально способна существенно улучшить характеристики получаемого пенобетона – многие теоретические предпосылки не подтверждаются практическим опытом реальной эксплуатации. Кроме того, оборудование, работающее по данному принципу (баросмесители), существенно сложнее обычных установок, работающих по традиционной технологии.

ГЛАВА 4

МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ ДОБАВОК СПЕЦИАЛЬНЫХ ПАВ НА БЕТОННЫЕ КОМПОЗИЦИИ

Современные качественные бетоны просто немыслимы без модифицирующих добавок. Особенно это относится к специальным бетонам, к которым смело можно причислить и пенобетоны. Степень успешности его производства всецело зависит как от номенклатуры применяемых химических добавок-модификаторов, так и – в еще большей степени – от правильного понимания механизма их действия.

Если проводить аналогии, то химические добавки в технологии бетонов играют ту же роль, что и специи в кулинарии. Маленькая щепотка приправы способна преобразить вкус блюда, иногда с диаметрально противоположным результатом – все зависит от мастерства кулинара.

Продолжая аналогии, можно с абсолютной уверенностью утверждать, что заморские бетонные снадобья ничуть не лучше и не хуже отечественных – растут-то на одной грядке, еще Менделеев ее окучил. И вкус имеют абсолютно одинаковый, только названия разные. На манипулировании именно «красивостью» и «завлекательностью» названия построен весь мировой бизнес продаж добавок для бетонов. А степень соответствия их декларируемой эффективности всецело зависит от уровня «раскрученности» бренда фирмы-производителя, степени бесстыдства рекламной поддержки и уровня финансового обеспечения.

Чтобы разобраться в сути проблемы хотя бы на начальном уровне, требуются некоторые интеллектуальные усилия. Они с лихвой окупятся при первом же их практическом применении. Учитывая, что данная тема достаточно сложна для непрофессионального восприятия (а кто говорил, что делать качественный пенобетон просто?), я постарался ее изложить в максимально доходчивой интерпретации. Порой это становилось возможным только путем умышленного упрощения сути явлений либо столь же умышленного ограничения объема

повествования (сольватные оболочки, например я, вообще даже не трогал). Прошу меня в том сильно не винить, а за дополнительной информацией обращаться к первоисточникам (см. *Список рекомендованной литературы*).

4.1 Структура бетонной смеси

Как известно, вода является инициатором начала химических реакций, в результате которых вяжущее (цемент) превращается в изделие (цементный бетон). И хотя эти химические реакции идут достаточно быстро, все равно существует некий индукционный период, в течение которого их можно еще не учитывать. Именно в этот момент происходит приготовление, транспортировка и укладка бетона. На степень успешности и результативности этих процессов влияет ряд технологических факторов. И в первую очередь степень подвижности полученного бетона.

Взаимодействие между твердыми частицами бетонной смеси всецело определяется наличием в ней жидкой среды – воды. Только после ее добавления к сухому цементу и заполнителю полученный конгломерат получает структуру и свойства, присущие бетонной смеси. Силы взаимодействия между твердыми частицами бетонной смеси имеют различную физическую природу, в основном зависящую от:

- размеров частиц;
- объема в системе жидкой фазы (воды);
- величины поверхностного натяжения жидкой фазы (наличие в воде ПАВ);
- физической природы жидкой фазы (свободная, капиллярная, сольватная вода);
- наличия в жидкой фазе ионов других веществ.

Зерна крупного заполнителя – песка или щебня – и пустоты между ними достаточно велики. Их удельная поверхность мала, а расстояния между зернами сравнительно большие. Поэтому влияние на них поверхностных сил ничтожно – его мы учитывать не будем. С уменьшением размера частиц (до 1,0–0,1 мм) возникают силы, обусловленные капиллярной природой и притягивающие такие частички друг к другу. Именно проявление этих сил обуславливает связность бетонной смеси.

На частицы размером 0,1–0,002 мм воздействуют уже силы поверхностного взаимодействия – так называемые флокуляционные силы. Их суть в следующем. На поверхности кристаллических материалов, к которым относятся материалы твердой фазы бетонной смеси (цемент, тонкодисперсные добавки и др.),

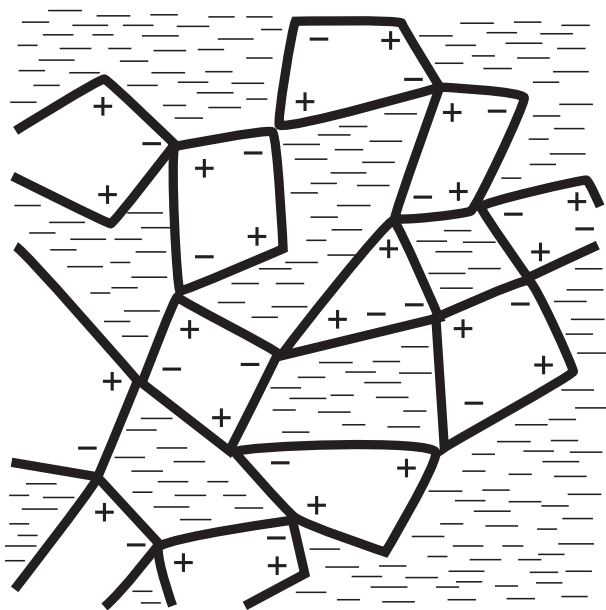


Рис. 4.1-1 Схема образований флоккул цемента в воде под воздействием электрических сил.

обычно всегда существуют электрические заряды. Эти заряды концентрируются на углах и ребрах кристаллов. Вследствие притяжения разноименных зарядов формируются флоккулы (рис. 4.1-1) – мелкие частички цемента группируются в более крупные сгустки.

Объем пор во флоккулах хоть и достаточно большой, но заполнившей его воды все равно недостаточно для обеспечения полной гидратации сопредельных зерен цемента. Вода во флоккулах, неподвижна. Ее приток извне или наружу практически прекращается. Ситуацию усугубляет и то, что продукты начавшей гидратации цемента еще более закупоривают внутренние каналы.

В натурном выражении этот процесс выливается в то, что самые мелкие и, следовательно, самые реакционно-способные частички цемента, которые должны были обеспечить быстрый набор прочности, сбиваются в сгустки – флоккулы. Они реагируют с водой в основном только по своей наружной поверхности. Внутри запасы воды быстро истощаются, и прочностной потенциал цемента оказывается наглухо замурованным на несколько лет, а то и десятилетий, пока атмосферная влага все же не проникнет вглубь этих флоккул.

Если проанализировать под микроскопом зерновой состав цементных частиц, то можно отчетливо наблюдать, что он очень укрупняется в водной среде.

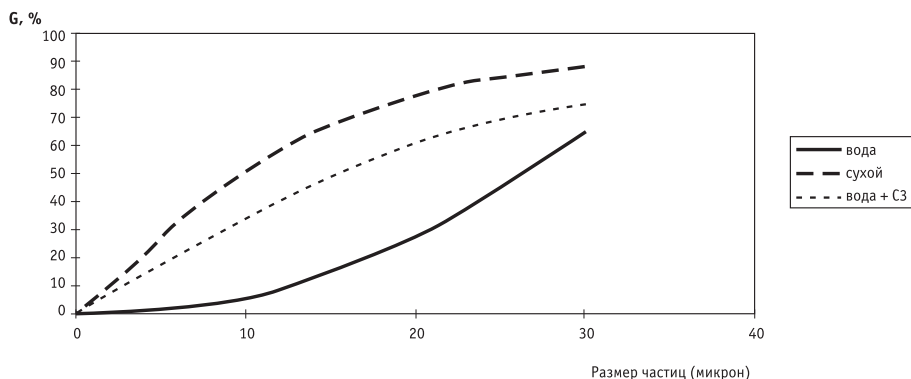


Рис. 4.1-2 Распределение частиц цемента по размерам

Даже тонкомолотые быстротвердеющие цементы с преобладанием частиц меньше 20 микронов в водной среде агрегируются в более крупные сгустки-флокулы. Добавка всего 0,3–0,7% серплагтификатора С-3 практически полностью снимает эту проблему (см. рис. 4.1-2).

Кроме того, «защемленная» во флокулах вода уже не участвует в формировании подвижной структуры бетонной композиции. Именно на стадии приготовления и укладки, когда пластичность бетонной смеси является определяющей технологической характеристикой, мы вынуждены компенсировать потерю, добавляя «лишнюю» воду. Свое пагубное влияние на прочностные характеристики она проявит потом, когда завершатся химические реакции.

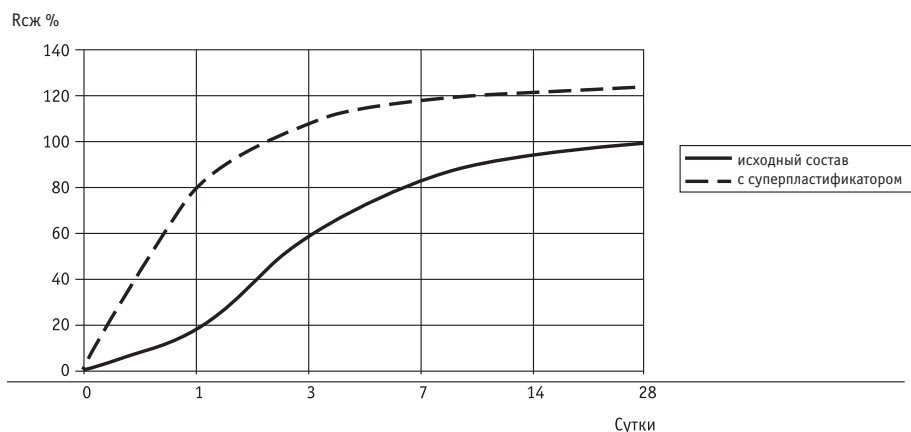


Рис. 4.1-3 Кинетика набора прочности бетона при неизменной подвижности

Особенно сильно этот эффект сказывается на тонкомолотых высокомарочных цементах, которые, в основном и применяются при производстве пенобетонов. Мало того, что их потенциальный быстротвердеющий эффект практически нивелируется флокулизацией и агрегатированием самых «лакомых» тонкомолотых частичек, так еще и увеличивающаяся водопотребность для получения теста нормальной густоты отбирает конечную прочность.

Если при изготовлении пенобетонной смеси не повышать ее пластичность (как правило, этого не нужно), а при помощи пластификаторов снижать В/Ц, можно достичь ярко выраженного эффекта ускоренного набора прочности (см. рис. 4.1-3). По своей эффективности данный метод даже предпочтительней применения ускорителей.

4.2 Способы модификации цементного камня

Поверхности твердых тел обладают некоторыми некомпенсированными молекулярными силами. При соприкосновении их с водой эти силы способны проявить себя. Молекулы воды, обладающие значительным дипольным моментом, в зоне этих силовых полей ориентируются определенным образом, упорядочиваются и уплотняются. Создается местная концентрация молекул воды вблизи поверхности твердого тела – адсорбция.

Все явления молекулярного порядка обладают просто гигантскими проявлениями. И адсорбционные здесь не исключение: пленки адсорбированной воды хоть и очень тонки, порядка 0,09 микрона, тем не менее молекулярные силы настолько видоизменяют саму физическую сущность воды, что ее уже следует рассматривать не как жидкость, а как твердое тело.

С удалением от твердой поверхности воздействие молекулярных сил уменьшается. Но вследствие полярности молекул воды формируются ориентированные цепочки в несколько десятков или сотен молекул, уходящие в глубь жидкой фазы. Длина цепочек зависит как от свойств поверхности твердого тела, так и от химических процессов, сопровождающих гидратацию цемента и насыщающих жидкую фазу ионами веществ, составляющих цемент. Толщина слоя такой ориентированной воды, во многих отношениях потерявшей свойства обычной жидкости, составляет до 0,15 микрона.

Хотя в обычном понимании столь тонкую пленку даже трудно себе представить, для составляющих ее молекул это огромные расстояния. По мере удаления от поверхности твердого тела на все последующие слои молекул воды адсорбционные эффекты оказывают все меньшее влияние, вплоть до их полного прекращения, и тогда вода опять становится жидкостью в традиционном понимании.

Но наиболее сильно адгезионные силы проявляются между первыми двумя слоями молекул воды, наиболее близкими к поверхности твердого тела.

Проявление адсорбционных (и хемсорбционных) сил, выраженное через электрокинетический потенциал взаимодействующих молекул, и называют ξ (дзэ-та) потенциалом. Он оказывает большое влияние на устойчивость коллоидных систем (гидратирующий цемент – типичный представитель таких систем).

Не хочется утомлять читателя излишними научными подробностями, но обойти такую важную характеристику, как дзэ-та-потенциал, не то что не могу – не имею права. Здесь «или-или». Или вы еще раз перечитаете пару предыдущих абзацев и хотя бы в общем представлении уясните суть явления, или качественного пенобетона вам не удастся сделать никогда.

Абсолютное же значение дзэ-та-потенциала и его знак зависят от природы твердого вещества и свойств жидкости, его окружающей. Зерна цемента в воде адсорбируют ионы Ca^{++} , и их поверхность приобретает положительный дзэ-та-потенциал ($\xi = +11$ мВ). При большом В/Ц величина и знак дзэ-та-потенциала особой роли не играет – частицы цемента достаточно разобщены водой и находятся на таком расстоянии друг от друга, что их флокуляция (сбивание в сгустки) еще не инициируется электрическими силами. Для получения качественного и прочного цементного камня В/Ц нужно обязательно понижать (см. предыдущее повествование). Уменьшая количество воды в системе, мы тем самым сближаем частички цемента. На определенном этапе они настолько сблизятся, что их разноименно заряженные фрагменты начнут притягиваться друг к другу – происходит их коагуляция (флокуляция), которая в конечном итоге ведет к снижению подвижности бетонной смеси. Получается замкнутый круг. Увеличивая количество воды затворения, мы повышаем подвижность бетонной смеси, но снижаем ее прочность. Снижая количество воды, получаем потенциально прочную, но жесткую и малоподвижную смесь, которую просто невозможно использовать в деле.

Для увеличения подвижности бетонной смеси при малом В/Ц необходимо каким-либо образом уменьшить флокулообразующие силы. А если это не удастся в полной мере, то постараться образовавшиеся флокулы-сгустки хотя бы раздробить. А еще лучше совместить оба этих процесса.

Для механического разобращения флокул используют высокоскоростное перемешивание, вибрирование, электрогидравлические эффекты и т.д.

(Описываемый далее «цепной активатор», собственно говоря, этим и занимается. Он, по большому счету, ничего не активирует, просто дробит крупные флокулы на более мелкие и интенсифицирует их гидратацию. И тем не менее даже такое элементарно реализуемое технологическое мероприятие способно принести ощутимый прирост прочности пенобетона и снижение его усадки).

Есть и другое решение – направленно управлять величиной электрических сил, участвующих в процессе. Самое простое решение – введение в бетон инертных заполнителей ультрамелкой (менее 10 микрон) размерности с дзэ-та-потенциалом отличным от нуля – зола-унос прекрасно для этого подходит.

Другой способ – насыщение цементного камня воздушными пузырьками. Они будут механически раздвигать зерна цемента, не допуская их опасного сближения на дистанцию досягаемости электрических сил. В приложении к пенобетонам, которые и так имеют воздушные поры, следует оговорить, что помимо крупных пузырьков, формирующих ячеистую структуры, весьма желательны еще и мелкие пузырьки.

(Ранее этот аспект проблемы был рассмотрен в связи с двумодальной пористостью ячеистых бетонов, а натурно он реализован в технологии вибровспученных пеногазозолобетонов).

И третий, наиболее эффективный способ – использование специальных поверхностно активных веществ (ПАВ), представляющих собой химические соединения коллоидной размерности, имеющие полярное строение. Адсорбируясь на частицах цемента, они способствуют созданию на их поверхности одноименного электрического заряда, выражающегося в изменении электрокинетического дзэта-потенциала. Это содействует дефлокуляции (пептизации) цементных частиц и их стабилизации в цементном тесте за счет действия электрических сил отталкивания (стерический эффект). Чем сильнее меняется дзэта-потенциал, тем выраженнее эффекты диспергации цементных частиц.

4.3 Добавки модифицирующие цементный камень путем оптимизации В/Ц

Пластификаторы, применяемые в технологии бетонов, по степени эффективности делятся на четыре группы. Хотя формальное деление происходит по способности пластифицировать бетонную смесь (см. *таблицу 4.3-1*), немаловажны и дополнительные эффекты – доступность, легкость хранения и применения, совместимость с другими модификаторами, цена и т.д. Все это обуславливает их специализированную и порой достаточно узкую область применения.

И хотя пластификаторы 2, 3 и 4 групп эффективности имеют четкую принадлежность к своему классу по степени их способности пластифицировать бетонную смесь, на деле эта градация порой весьма условна. В зависимости от дозировки, условий применения, использованных рецептур бетона, наличия побочных примесей и т.д. они «кочуют» из группы в группу. Некоторые, особо удачливые, при определенных условиях способны даже посягнуть на приставку «супер», однако подробности подобного плана выходит за рамки данного повествования.

Согласно нашей классификации, существует отдельный, но цельный класс добавок – пластификаторы. Отечественная наука допускает более расширенное толкование этого термина путем приставок «супер» и «гипер». В западном

Вид добавки	Критерий эффективности	Дополнительные эффекты	Название добавок
Пластификаторы 1 гр. эффективности (супер-пластификаторы)	Увеличение подвижности бетонной смеси с П1 до П5 (от 4 см и менее до 25 см) без снижения прочности во все сроки испытаний	Повышение прочности бетона, расслоения бетонной смеси, дополнительное воздухововлечение, увеличение деформации усадки и ползучести. На равноподвижных бетонных смесях возможно: повышение прочности, морозостойкости, водонепроницаемости, коррозионной стойкости бетона.	С-3 Дофен 10-03 МФ-АР МКФ-АР40-03 СМФ
Пластификаторы 2 гр. эффективности	Увеличение подвижности бетонной смеси с П1 до П4 (от 4 см и менее до 20 см) без снижения прочности во все сроки испытаний. Увеличение подвижности растворной смеси от П4 до П14 (от 1 см до 14 см)	Замедление схватывания бетонной смеси, расслоение бетонной смеси, дополнительное воздухововлечение, увеличение деформации усадки и ползучести. На равноподвижных смесях повышение интенсивности тепловыделения, повышение морозостойкости и коррозионной стойкости бетона.	ЛСТ ЛТМ ЛСТМ-2 МТС-1 ХДСК-1 (НЛК-1) ХДСК-2 (НЛК-2) НИЛ-20 Окзил ПФС УПБ ПДК (ПДКО) ПЛКП Релаксол ВРП-1 ВРП-Э50 М-1 УФп УЩР ЩСПК (ПАЩ-1) ЩСПКм НЧК КЧНР ГКЖ-10 ГКЖ-11 ПФЛХ ПМЩ ЛХД ВЛХК Мн (М1)
Пластификаторы 3 гр. эффективности	Увеличение подвижности бетонной смеси от П1 до П3 (от 4 см и менее до 15 см) без уменьшения прочности бетона во все сроки испытаний. Увеличение подвижности растворной смеси от П4 до П12 (от 1 см до 12 см).	Замедление схватывания бетонной смеси, замедление темпа набора прочности бетоном. Для равноподвижных смесей повышение интенсивности тепловыделения, повышение коррозионной стойкости бетона.	
Пластификаторы 4 гр. эффективности	Увеличение подвижности бетонной смеси от П1 до П2 (от 4 см и менее до 9 см) без уменьшения прочности во все сроки испытаний. Увеличение подвижности растворной смеси от П4 до П8 (от 1 см до 8 см)		

Таблица 4.3-1

Год открытия	Тип пластификатора по химическому составу	Символ по западной классификации	Снижение водосодержания, %
1939	Лигносульфонат	LS	5–15
1960	Сульфированный меламинформальдегид	MSD	5–25
1932	Сульфированный нафталинформальдегид	NSF	15–25
1993	Поликарбоксилан	PA	20–30
1997	Эфир поликарбоксилановый	PAE	25–40
1997	Сополимер акриловый	CAE	25–45

Таблица 4.3-2

бетоноведении прижились названия, более детально квалифицирующие суть происходящих явлений – водопонизители и диспергаторы. Хотя и это деление нельзя назвать исчерпывающе полным, оно все-таки более точно характеризует область применения пластификаторов сообразно их основному эффекту.

Отечественная и зарубежная практика применения пластификаторов насчитывает уже более 60 лет. Этапы развития прикладного бетонovedения во многом согласуются с изобретением тех или иных пластификаторов (см. *таблицу 4.3-2*). А получение современных высокопрочных (*HSC* – High Strengh Concrete), особовысокопрочных (*Ultra HSC*), высокофункциональных (*HPC* – Higt Performance Concrete), самоуплотняющихся (*SCC* – Self-compacting concrete), особопрочных легких (*HSLWC*-High Strength Lightweight Concrete) и т.д. бетонов просто невозможно без подобного рода модификаторов.

4.3.1 Пластификаторы 1 группы эффективности – суперпластификаторы

Особое место в модификации бетонов заняли суперпластификаторы. Это длинноцепочные полимеры с очень большим количеством полярных групп в цепи. Длинная углеводородная цепь и большая молекулярная масса способствуют их высокой адгезии на зернах цемента. Благодаря этому электрокинетический дзета-потенциал изменяется от $\xi = +11$ мВ до $-25 \dots -35$ мВ, что способствует повышенной диспергации и взаимному отталкиванию частиц цемента. Размер молекул суперпластификаторов составляет несколько нанометров, что позволяет пленке таких молекул перекрыть микронеровности на поверхности частиц цемента и создает лучшие условия для уменьшения сил, связанных с внутренним трением частиц в потоке.

Суперпластификаторы позволяют резко повысить подвижность бетонной смеси без увеличения ее водосодержания – это очень важно для укладки бетона по т. н. литевой технологии. Типичный пример такого способа ведения работ – монолитное домостроение, столь популярное в последнее время во всем мире.

Если повышенная пластичность и подвижность не нужны либо излишни, либо не регламентируются технологией ведения работ (типичный пример – производство пенобетона), применение суперпластификаторов позволяет уменьшением воды затворения минимизировать В/Ц, вплотную приближая его к оптимальным показателям. При прочих равных условиях это дает 20–50%-ный прирост прочности.

С помощью суперпластификаторов можно также и экономить цемент – изымать ту его долю, которая в бетонах исполняет роль не носителя прочности, а тривиальнейшего смазочного реагента. Экономическая целесообразность подобной «экономии» в тяжелых бетонах весьма сомнительна – суперпластификаторы сравнительно дороги. И во всем мире никто таким образом цемент не экономит. Но если минимизация цемента в бетонной матрице преследует иные цели, например снижение усадочных явлений в цементном камне и повышение трещиностойкости изделий, как в пенобетонах, – данный аспект применения суперпластификаторов требует всяческого распространения.

Один из недостатков суперпластификаторов заключается в зависимости их эффективности от минералогии цемента. Для высокоалюминатных цементов ($C_3A > 6$) для достижения аналогичного эффекта требуются большие их дозировки, чем для низкоалюминатных. Если сильно не вдаваться в «адсорбционную способность коагуляционных структур высокодисперсных гидроалюминатных новообразований», проблема излечима. Нужно только перед введением суперпластификатора обеспечить начальную гидратацию цемента. Попросту говоря, обеспечить раздельное введение: сначала бетонная смесь некоторое время (1–2 минуты) перемешивается просто с водой и только потом к ней добавляется суперпластификатор. Подобным нехитрым приемом удастся экономить 15–20% суперпластификатора.

Главный же недостаток суперпластификаторов – низкая живучесть бетонной смеси. Высокий пластифицирующий эффект всего через 30–40 минут значительно снижается. Сделать высококачественный бетон с их помощью достаточно просто, но вот сохранить его подвижность в процессе транспортировки до момента укладки достаточно сложно. Это обусловило все большую популярность новых видов пластификаторов – карбоцепных (уже прижились их название: гиперпластификаторы), которые лишены этого недостатка. Но, рассматривая проблему в аспекте применимости пластификаторов именно в технологии пенобетонов, этот главный недостаток оборачивается не минусом, а скорее плюсом.

В среднем применение суперпластификаторов в монолитных конструкциях позволяет снизить трудозатраты не менее чем на 1–1,5 чел.-ч/м³ бетона при одновременном существенном повышении эксплуатационных характеристик бетонных изделий и конструкций. Все вместе это обеспечило повсеместное и массовое их применение в индустриальном строительстве. Трудно назвать хотя бы еще одну строительную химическую добавку, которой уделялось бы столько внимания как производственниками, так и учеными-бетоноведами.

Строительное законодательство практически всех постсоветских стран решает на официальном уровне следующие суперпластификаторы, разработанные и производимые еще при Советском Союзе:

1. *Суперпластификатор С-3* – добавка на основе натриевых солей продукта конденсации нафталинсульфоокислоты и формальдегида. Жидкость темно-коричневого цвета плотностью 1,15–1,20 г/см³ или не слеживающийся темно-коричневый, легко растворимый в воде порошок. Не имеет запаха, не выделяет при хранении вредных газов и паров, малотоксичен. Растворы пожаро- и взрывобезопасны. Водные растворы С-3 не изменяют своих свойств при нагревании до +85 °С и замораживании до –40 °С. Гарантийный срок хранения 1 год. Производится Новомосковским ПО «Оргсинтез».
2. *Суперпластификатор Дофен (ДФ, С-4)* – добавка, получаемая на основе продуктов конденсации сульфокислот нафталина, его производных и аналогов с формальдегидом с использованием мочевых кислот – отходов производства очищенных сортов нафталина. Представляет собой жидкость темно-коричневого цвета (допускается осадок), плотность 1,15–1,20 г/см³, пожаро- и взрывобезопасна. Гарантийный срок хранения 1 год. Производится фенольным заводом в г. Дзержинск Донецкой обл.
3. *Суперпластификатор 10-03* – олигомерный продукт поликонденсации сульфированного триметилолмеламина. Представляет собой прозрачную желтоватую, слегка опалесцирующую жидкость плотностью 1,101 г/см³ (допускается осадок). Негорюч, пожаро- и взрывобезопасен, малотоксичен. Гарантийный срок хранения 6 мес. в сухих помещениях в герметично закрытой таре. Воздействие прямых солнечных лучей не допускается.
4. *Суперпластификатор МФ-АР* – меламиноформальдегидная анионоактивная смола. Продукт поликонденсации меламина, формальдегида и сульфанилата натрия. Представляет собой прозрачную желтоватую жидкость (с небольшим количеством взвеси) плотностью 1,08–1,12 г/см³. Не изменяет своих свойств при температуре от –50 °С до +35 °С. Хранится в герметично закрытой таре, защищенной от солнечных лучей. Раствор негорюч, пожаро- и взрывобезопасен, малотоксичен.
5. *Суперпластификатор 40-03* – смесь натриевых солей продуктов поликонденсации с формальдегидом сульфированных ароматических

углеводородов, выделяемых при каталитическом крекинге и пиролизе нефтепродуктов. Представляет собой 20%-ный водный раствор плотностью 1,05–1,20 г/см³ (допускается осадок). Хранится в закрытом помещении при температуре не ниже -5°C с гарантией в течение трех месяцев.

6. *Суперпластификатор СМФ* – смесь полимерных соединений разной молекулярной массы, получаемая при конденсации сульфокислот нафталина и П-фенолсульфокислоты с формальдегидом, нейтрализованная едким натром. Представляет собой водный раствор коричневого цвета плотностью 1,15–1,2 г/см³. Пожаро- и взрывобезопасен. Гарантийный срок хранения 1 год.

Выдержали испытанием временем и дожили до нынешних времен фактически всего два суперпластификатора. В России производится С-3, на Украине – «Дофен». Оба на основе сульфированных нафталинформальдегидов.

Хотя, по правде сказать, украинская строительная индустрия в большинстве своем ориентирована все же на российский С-3. Причин тому несколько, но главное – качество. Если российское производство изначально было запроектировано таким образом, что получение суперпластификатора – конечная цепочка техпроцесса, то украинское – как способ грамотной утилизации отходов основного производства. Продукт, полученный на основе специально закупленного сырья, прошедшего строгий входной контроль, конечно же, будет превосходить по качеству аналогичный, но изготовленный из отходов с «плавающими» характеристиками.

Между тем, в свое время были предприняты попытки районировать производство суперпластификаторов. В качестве типового была реализована технологическая схема производства отработанного и проверенного С-3. Достаточно серьезные производственные мощности были отстроены практически во всех республиках бывшего СССР. Их запуск пришелся на начало драматичных 90-х годов. В связи со значительным снижением объемов строительного производства эта продукция вскоре стала никому не нужна; технологические линии были перепрофилированы, пришли в негодность либо вообще отправлены в металлолом.

Подъем строительной индустрии заставил по-новому взглянуть и на производство суперпластификаторов. Использование аналогичных импортных составов не регламентировано строительным законодательством на уровне официальных разрешительных документов.

(Продавцы зарубежных добавок весьма ловко обходят сей факт, предпочитая особо не распространяться на эту тему. Но ни один проектировщик или грамотный строитель не возьмется нести на себе груз ответственности, вплоть до уголовной, весь гарантийный срок эксплуатации здания или сооружения в случае применения или «запроектирования» добавок, отсутствующих в ГОСТе.)

В самое ближайшее время на рынке отечественных суперпластификаторов намечаются серьезнейшие подвижки. На монопольность российского С-3 замахнулись украинские производители. Причем не какая-то отдельно взятая коммерческая структура, а очень солидное и уважаемое предприятие с двухвековой историей, самым своим названием свидетельствующее, что за дело взялись на государственном уровне – «Первый казенный химический завод». Запуск линии по выпуску товарного украинского С-3 (пока только в жидком виде) должен состояться весной 2006 года. Если учесть, что на этом же предприятии производится и еще несколько строительных добавок (пластификатор второй группы эффективности, противоморозная добавка и ускоритель-уплотнитель), а поблизости находится единственный в Украине производитель гидрофобизаторов, вырисовывается весьма интересная перспектива получения на постсоветском пространстве мощного, крупнотоннажного производителя полифункциональных строительных добавок мирового уровня эффективности. Во всяком случае, хочется в это верить...

И пусть россиян (белорусов, казахов и другие) не смущают границы и таможи, – предприимчивые украинцы пролезут в любую щелку. Вернее, давно уже пролезли: только одно украинское предприятие сейчас выпускает до 3000 т простейших химических добавок в месяц, большая часть которых прямоком отправляется выполнять строительные программы к столичным «крепким хозяйственникам». А уж полифункциональные составы, незаменимые в современном строительстве да еще и официально разрешенные на законодательном уровне – с руками оторвут.

Весьма интересная, можно даже сказать, эпохальная ситуация разворачивается на рынке строительных добавок и в вопросах формирования их цены. Недавние аварийные обрушения в Украине и совсем свежие московские события еще раз всколыхнули общественное мнение в вопросах надежности и долговечности строительных объектов. Проблема эта существовала всегда. Здания и сооружения рушатся постоянно. И не только у нас, и не только сейчас. В СССР, например, даже ежегодно издавался цикл «Аварии в строительстве». Каждый год по несколько ярко-красных книжечек – в одну не помещались все, даже самые крупные, аварии. Головоотяпство, преступная халатность, ошибки проектирования и строительства, форс-мажорные обстоятельства – неизменные спутники любого вида человеческой деятельности. И строительная индустрия здесь не исключение. Но если раньше огрехи строительства становились предметом рассмотрения узких специалистов – не допустить повторения, то сейчас – механизмом формирования общественного мнения. Или инструментом сведения счетов в конкурентной борьбе.

То, что на рынке химдобавок ведется ожесточенная и нешуточная борьба, – для специалистов не секрет. Украинская ситуация в этом вопросе весьма

показательна: концентрация химических производств и их потенциал по производству строительных добавок значительно опережает уровень внутреннего потребления. Поэтому «толкание локтями» между производителями зачастую выходит за разумные рамки: от души врезать конкуренту посредством газетной публикации – в порядке вещей. Общественное мнение, не посвященное в предысторию подковерной борьбы и совершенно не подготовленное к восприятию узкоспециализированной технической информации, тем не менее становится на дыбы – «Доколе? Кто виноват? Что делать?». В Украине, например, грамотно взбудораженное и умело направленное общественное мнение уже оформилось в директивное указание Госстроя: «усилить контроль за применением хим. добавок, применение которых не регламентировано должным образом». Иными словами, на пути импортной экспансии поставлен еще один барьер – защита отечественного товаропроизводителя в действии.

Все вышеперечисленное однозначно свидетельствует – в ближайшее время начнется (если уже не начался) серьезный передел ранка строительных химдобавок. В него будут вовлечены как отечественные, так и зарубежные производители. Соперники разной весовой категории. Слабые рано или поздно начнут бить ниже пояса – демпинговать. И строительная индустрия, хоть на короткий срок, сможет вкусить все прелести современных строительных модификаторов по бросовым ценам.

ГЛАВА 5

ГИДРОФОБИЗАТОРЫ

Все добавки и модификаторы, применяемые в бетоне, улучшают те или иные характеристики бетона. Одни лучше, другие хуже. Но есть отдельный класс добавок, которые полностью меняют один из важнейших параметров бетона – его отношение к влаге.

Изначально бетон, как и все остальные строительные материалы, гидрофилен, то есть притягивает воду. Капните водой и убедитесь сами.

Гидрофильность бетона – первооснова всех разрушительных процессов, возможных в нем. Вода – главный враг бетона, именно она провоцирует начало и развитие различного рода коррозионных процессов в цементном камне. Уменьшив количество воды, способной проникать в бетон, мы тем самым значительно увеличим долговечность бетона.

Один из способов уменьшения количества воды, проникающей в бетон на стадии эксплуатации, – изготовление высокоплотных и малопористых бетонов. Это решение, по сути своей, «лобовое», и как все подобные решения, оно требует значительных и дорогостоящих мероприятий: подбор granulometрии заполнителей, использование спеццементов, применение добавок водопонижителей и кольмататоров, различные технологические ухищрения и на стадии приготовления бетонной смеси, и в момент ее укладки. Короче, очень хлопотный и обременительный путь, доступный только при условии высокого профессионализма исполнителей.

Но есть и другое – «хитрое решение», а потому очень красивое как с экономической стороны, так и с чисто технологической. Нужно поменять саму природу бетона, сделать его гидрофобным, попросту говоря, отталкивающим воду. Нет воды – нет и коррозионных процессов разрушения бетона. Соответственно, многократно возрастает его долговечность.

Такой фокус возможен в случае применения специальных добавок – гидрофобизаторов.

Эти добавки известны науке давно, но только в 1937 г. советский ученый Андрианов разработал принципиальные основы промышленного производства одной из их разновидностей – силиконов. С тех пор кремнийорганические гидрофобизаторы (силиконы) широко применяются во многих отраслях промышленности, в том числе и для придания водостойких качеств строительным материалам.

Советская школа прикладного и научного бетоноведения внесла большой вклад в разработку теории, методологии и практических рекомендаций по применению кремнийорганических гидрофобизаторов в строительстве. Большая часть научных работ в этом вопросе объединены в замечательной книге «Модифицированные бетоны» В. Б. Батракова, которая выдержала уже второе издание.

Благодаря применению гидрофобизаторов стало возможно строительство объектов военной и ядерной инфраструктуры с периодом гарантированной долговечности в несколько сот лет.

Методологические основы и научный фундамент работы гидрофобизаторов в бетоне достаточно сложен, а книга В. Б. Батракова неподготовленному читателю вряд ли в чем-то поможет. И хотя в ней имеются ответы на практически все вопросы по теории гидрофобизации бетонов, для непрофессионального восприятия нужен другой подход – популяризаторский.

Попытка популяризаторского освещения проблематики гидрофобизации бетонов изложена ниже. Это Интернет-обсуждение на одном из строительных форумов. Для большинства случаев даже такого уровня представления информации оказывается вполне достаточно, ну а профессиональное ознакомление предполагает обязательное знакомство с трудами Батракова.

* * *

Андрей Р

Собственно поспрашивал в магазинах города – никто не возит такое, даже не знаю, стоящая на самом деле вещь для гидроизоляции или нет, и где ее купить? И желательно ориентировочную цену.

BigHarry

А если туды Аквастопа влить? Когда у меня ремонт делали, строители так и поступили – оставались лишние пять литров Аквастопа. Они его в раствор залили, сказали, что круто будет. Хотя, если честно, то я потом засомневался в этом, так как ближе к окончанию работ вылезли всяческие косяки, и квалификация этих строителей на моих глазах упала ниже плинтуса...

Андрей Р

А вообще, реально ли купить добавку в бетон гидрофобную на строительных рынках? А то даже не знаю, куда сунуться за ней. У нас не продается,

могу, в принципе, приехать в Москву на рынки в пределах МКАД – Ярославское шоссе.

Сергей Ружинский

По теме гидрофобизации бетонов писано-переписано. Даже в Интеренете. И даже на этом форуме.

Простейшая гидрофобизирующая добавка – мыло хозяйственное. По научному, олеат натрия. Иименно под такой маркой его и продают очень многие и очень «продвинутые» фирмы. Хотя и у Сики, и у Мапея, и у Аддимента первооснова одна – омыленные жирные кислоты, все те же натриевые соли олеиновой, пальмитиновой, стеариновой, линолевой и т.д. кислот, по-русски мыло.

Внимательно!!! Дозировки очень малы – порядка 0,1 % от массы цемента. Если передоз – цемент начнет «колбасить»: упадет прочность и сильно замедлится кинетика набора прочности (хотя во многих случаях эта самая прочность вовсе и не нужна). Вводить в составе воды затворения.

А вообще, самые забойные гидрофобизирующие добавки – на основе кремнийорганики. У Мапея, кажется, 10 заводов по всему миру, в России один главный («Усольский силикон») и куча прихлебателей/перефасовщиков в Украине – запорожский «Кремнийполимер». Ниже статья из журнала «Популярное бетоноведение» – ГКЖ (это название по ГОСТу, а посему упоминание данной аббревиатуры не есть реклама).

Кроме того, водонепроницаемость бетона во многом зависит и от совершенства его поровой структуры; по большому счету, нужно туда еще и пластификатор (ЛСТ, например), и ускоритель-уплотнитель (нитрат кальция или хлорное железо). Но это уже, так сказать, «высший пилотаж», хотя в составе импортных полифункциональных модификаторов все эти базовые компоненты присутствуют изначально – накапай из флакона и будет тебе счастье.

Силикат-натриевые композиции (жидкое стекло) очень сильно ускоряют схватывание цемента. В дозировках, потребных для придания бетону водонепроницаемости, уже практически невозможно работать. Жидкое стекло используют в основном для торкет-бетона, когда набрызг делают, – оно тогда прямо в сопле смешивается с бетоном, а через несколько секунд схватывается на стене.

Уже готовые полы можно обрабатывать жидким стеклом (силикатизация по-научному), но без опыта и знаний – не советую.

Еще есть флюат-составы на основе кремнийфторидов – те действительно очень сильно упрочняют бетон (торговая марка на манер Литурина). Но очень дорого. И ядовитые. Используют в крайних случаях; изначально качественный бетон сделать гораздо проще и дешевле.

Привожу ниже свою статью из журнала «Популярное бетоноведение». Она как нельзя кстати по данной теме.

Чтобы стены «не плакали»...

Влага является одним из основных факторов негативного воздействия на строительные материалы – она или непосредственно их портит, или провоцирует начало разрушительных процессов. От нее придумано множество способов защиты, но самым эффективным следует считать метод с использованием специальных водоотталкивающих веществ – гидрофобизаторов.

Благодаря этим уникальным составам строения приобретают поистине фантастические свойства: влагу в форме водяных паров пропускают беспрепятственно, а вот на пути воды встают непреодолимым барьером. Стены «дышат» и обеспечивают комфортный микроклимат в помещениях – излишки влаги от жизнедеятельности людей беспрепятственно уходят, а атмосферная влага, наоборот, внутрь не проникает.

Очень актуальна проблема водопроницаемости для различных строений, заглубленных в грунт (фундаменты, подвалы, погреба и т.д.). В бетоне всегда присутствуют мельчайшие поры и капилляры. Они с фантастической силой – до 300 атм. – как губка тянут воду из земли (в городском водопроводе, например, давление не превышает 6 атм.). Наружные защитные обмазки на битумной основе не могут долго противостоять такой всепроникающей мощи. При самом тщательном проведении гидроизоляционных работ вода всегда находит себе путь – в подвале становится сыро, стены увлажняются и промерзают. Эффективно бороться против такой влаги возможно только столь же мощным оружием – капиллярным. Нужно только обратить его в свою пользу.

Бетон, раствор или кирпич по своей природе гидрофильны. Если они станут гидрофобными (отталкивающими воду), проблема решится сама собой. Для этого достаточно ввести в состав бетона или раствора совсем немного специальной добавки – гидрофобизатора. Он изнутри выстилает поры и капилляры тончайшим водоотталкивающим слоем, и дополнительная наружная гидроизоляция становится уже просто ненужной.

Целая гамма строительных гидрофобизаторов была разработана в послевоенные годы, и с тех пор широко применялась в строительстве. Но основным потребителем этих уникальных составов все же оставалась армия – без них невозможно сооружение специальных объектов военной инфраструктуры с гарантийным сроком эксплуатации в сотни лет. Гражданские строители довольствовались жалкими остатками, которых хватало только на очень ответственные объекты.

В последнее время строительный рынок заполнили всевозможные импортные гидрофобизаторы. Цены на них настолько отпугивающи, что позволяют использовать подобные составы только для элитных объектов. Между тем, за красивыми и звучными названиями и красочной упаковкой скрываются давно освоенные отечественной промышленностью и выпускаемые уже полвека кремнийорганические гидрофобизаторы типа *ГКЖ-11* и *ГКЖ-94*. Они ничем не

уступают лучшим зарубежным аналогам, кроме цены. В отличие от иностранных аналогов их применение разрешено официальным украинским нормативно-строительным законодательством. Это развязывает руки строителям и проектировщикам, позволяет им реализовать передовые архитектурные и проектные решения при существенном удешевлении строительства и без обременительного согласования порядка применения зарубежных строительных добавок.

Использовать отечественный гидрофобизатор ГКЖ-11 можно как на стадии строительства объекта (в составе кладочных и штукатурных растворов и бетонов), так и для защиты уже готовых конструкций – путем их поверхностной пропитки. При приготовлении водонепроницаемых бетонов и растворов добавка ГКЖ-11 в дозировке 0,1–0,2% (100–200 г на 100 кг цемента) вводится в составе воды затворения. Затратив всего \$ 1 на 1 м³ бетона, удастся легко уменьшить его водопроницаемость в 7–9 раз.

При поверхностной защите уже эксплуатирующихся построек гидрофобизирующая жидкость ГКЖ-11 разводится десятикратным объемом воды и любым доступным способом (кисть, валик, распылитель) наносится на защищаемую конструкцию. В результате обработанная поверхность, оставаясь паропроницаемой, на срок от 5 до 10 лет приобретает водоотталкивающие свойства. При затрате всего \$ 0,09 на 1 м² обрабатываемой поверхности удастся снизить водопроницаемость строений в 3–5 раз.

Гидрофобизирующая жидкость ГКЖ-11 незаменима при изготовлении сооружений, к которым предъявляются повышенные требования по водонепроницаемости и долговечности – различные гидроизолирующие стяжки, обустройство подвальных помещений, ремонтно-восстановительные работы в санузлах и душевых, изготовление бассейнов, водосохраняющих и водотранспортных сооружений, незагрязняющихся мозаичных полов, самоочищающихся наружных штукатурок и т. д. Она подстрахует на ответственных и элитных объектах, значительно увеличит морозостойкость и эксплуатационную долговечность тротуарных камней, малых архитектурных форм и облицовок из дикого камня, обеспечит успешную эксплуатацию изначально неморозостойких материалов – шлакоблока, пеноблока, ракушечника, песчаника.

Вода в 25, а лед в 110 раз лучше проводят тепло, чем воздух. Поэтому даже самые теплосберегающие строительные материалы, насыщаясь атмосферной влагой, сильно ухудшают свои теплоизолирующие характеристики, особенно зимой, после дождливой осени – вплоть до полного промерзания стен. При помощи гидрофобизирующей жидкости ГКЖ-11 эта проблема решается легко и просто – от обработанной ею поверхности осенние дожди отскакивают, как от раскаленной сковородки.

Огромнейший опыт, накопленный отечественной строительной индустрией по эффективному применению кремнийорганических гидрофобизаторов,

и обилие различной рекомендательной литературы позволяет в кратчайшие сроки освоить их применение. Жидкость ГКЖ-11 безвредна для человека и разрешена к применению вплоть до ее использования в конструкциях, контактирующих с питьевой водой.

Пример использования ГКЖ-11.

В 1962 году на строительстве двух жилых корпусов строительно-монтажный трест Ленсовнархоза вместо оклеечной гидроизоляции в санузлах применил водоотталкивающие цементные стяжки. В качестве гидрофобизирующей добавки жидкость ГКЖ-11 применялась в двух вариантах.

По первому варианту, стяжка толщиной 2–3 см. укладывалась из обычного цементно-песчаного раствора в объемной пропорции 1:3. Ковер стяжки заворачивался по 10 см на каждую стену помещения. Гидрофобизирующий водный раствор приготавливался разведением ГКЖ-11 десятикратным количеством воды и через 4–5 суток наносился на ранее уложенную стяжку опрыскивателем садового типа.

Во втором случае при приготовлении стяжки в бетономешалку сразу добавлялась жидкость ГКЖ-11 в дозировке 200 гр. на 100 кг цемента.

Готовые цементно-песчаные стяжки в месячном возрасте испытывались на водопроницаемость. Для этого поверхность стяжки заливалась слоем воды толщиной 10 см (в дверной проход укладывался валик из глины). В течение 3-дневного гидростатического испытания стяжки, гидрофобизированные и с поверхности, и путем введения в растворную смесь, совершенно не промокли. Пятен сырости на потолке низлежащих помещений обнаружено не было.

Контрольная, негидрофобизированная цементная стяжка при ее испытании аналогичным методом пропустила воду уже через 2 часа, и на низлежащем потолке сначала появились пятна сырости, затем он совершенно промок, и вода, собираясь в крупные капли, падала вниз.

BV

Изменяет ли ГКЖ-11 время схватывания?

Есть особенности заливки бетона с этой жидкостью?

Каким грунтом можно пользоваться, если поверхность приобрела водоотталкивающие свойства?

Где можно купить в Москве 1 литр ГКЖ-11?

Сергей Ружинский

После кремниорганических гидрофобизаторов ничто, приготовленное на водной основе, не прилипает, поэтому на такой бетон нужно нанести праймер (это по-ихнему, а по-нашему – разделительную грунтовку). Любой длинноцепочный

полимер (клей ПВА, например) пополам с цементом, воды по вкусу. И аккуратненько намазать. Или купить любую грунтовку – их сейчас полно на каждом углу.

ГКЖ – это название по ГОСТу. Под таким именем его продают только украинцы. В России то же самое продается под торговыми марками. Если в описании присутствует этилсиликонат, это ГКЖ-10, метилсиликонат натрия – ГКЖ-11Н, метилсиликонат калия – ГКЖ-11К, фенилсиликонат – ГКЖ-12, полигидросилоксан или что-то подобное – ГКЖ-94, -94М.

Если в магазине консультант зачитывает вам с этикетки, что это, дескать, кремнийорганика, но только непонятно какая, то если водорастворимая – это что-то типа ГКЖ-10, -11, -12. Если маслорастворимая (обычно к ней рекомендуется специальный растворитель, воняющий чем-то нефтяным) – это полигидросилоксан (наш ГКЖ-94, -94М). Импортный растворитель можете не брать – это уайтспирит, своего полно.

ГКЖ-94 напрямую в бетон нельзя – он же маслорастворимый. Его нужно предварительно эмульгировать: стиральный порошок + дрель + вода. Часто продается уже эмульгированный, он обычно мутный.

Вообще, ГКЖ-94 и все остальные полигидросилоксаны обычному смертному не нужны – бетон с такой добавкой переживет ваших праправнуков. Но если вы задумали у себя на огороде пусковую шахту соорудить, с гарантированным ресурсом эксплуатации в 1200 лет, или, к примеру, ядерный могильник – тогда в самый раз.

Где купить в Москве – воспользуйтесь поисковиком, этого добра сейчас навалом, только вот под коммерческими низваниями приводить не буду, так как это уже будет реклама.

Кремнийорганика замедляет схватывание и твердение цемента. Но в рекомендованных дозировках вы этого замедления практически не ощутите.

КАТЕГОРИЧЕСКИ не рекомендуется «передоз»! Написано на этикетке: 0,2% от массы цемента – больше не добавляйте, иначе все будет наоборот. Там мономолекулярные слои ориентированных полярных молекул – нужна вам вся эта муть? Делайте просто по написанному на этикетке.

Андрей Р

Был на строительных рынках: Мытищи, Пушкино, Тракт-терминал. Добавки гидрофобной не нашел, там даже не слышали. Единственное, что есть – С-3.

А еще и цены просто запредельные!!!

Я замечал такое и раньше, но в этот раз просто в шоке: так заламывать цены и вешать лапшу на уши! Но это не для нашей темы.

Сергей Ружинский

Кстати, вот та статья – «Чтобы стены не плакали» (см. выше). Это одна из статей цикла о строительных химических добавках.

А цикл предваряло предисловие:

«Отечественная кремнийорганика слабо востребована на внутреннем рынке, поэтому она эшелонами уходит за рубеж.

Отечественные эффективные пластификаторы очень дешевы, поэтому они преданы забвению.

Отечественная строительная наука полвека назад научилась бороться с высолами на кирпиче. Почему мы все это забыли?»

Стоимость (заводская, отпускная) того же ГКЖ-11К – 12 гривен (\$ 2,4) за литр на Украине (форма «В» – 47 %-ный водно-спиртовой раствор).

Этого количества достаточно, чтобы произвести наружную гидрофобизацию на площади примерно 50 кв. метров (разводится водой в пропорции 1:18), либо приготовить 1,5–2,0 м³ гидрофобизированного бетона.

В Украине кремнийорганику выпускает запорожский «Кремнийполимер». Если в мелкой расфасовке – жуткий дефицит. Если цистернами, то сколько душе угодно.

В России кремнийорганику выпускает «Усольский силикон» и еще несколько более мелких заводов, заводиков и полуподпольных шарашек.

В России наиболее популярны гидрофобизаторы под торговыми марками «Пента» и «Аквастоп».

ГКЖ-11К – это ГОСТИРОВАННОЕ наименование. Поэтому под таким именем ни один дурак не станет его продавать (украинцы – исключение).

Обычно идет перефасовка с последующей перепродажей, но уже под КОММЕРЧЕСКИМ названием, например, «Аквастоп-К» и т. п.).

Кремнийорганические гидрофобизаторы, как правило, – это жидкости.

Бывают и сухие. Тот же ГКЖ-11К возможен и в «сухом» исполнении, тогда он называется ГКП-11К (П – порошок). Крайне дефицитная штука. Только для сухих смесей. Искать такие сухие гидрофобизаторы в рознице бесполезно.

Стоимость суперпластификатора С-3 – примерно \$ 1/кг в Украине (это розница!). В России, где его делают, раза в полтора дешевле. Минимальная заводская фасовка – мешок 20 кг.

Ближайший к Москве завод – Новомосковск (Тульская обл.), там есть завод «Оргсинтез», а при нем фирма «Полипласт».

Только что оттуда приехал.

Я накидал кучу ключевых слов для поиска – кому **ДЕЙСТВИТЕЛЬНО** нужно, тот найдет. Сейчас даже бабушки семечками через Интернет торгуют.

BV

Где посмотреть шкалу водостойкости бетона с применяемостью?

Сергей Ружинский

to BV

Непонятен вопрос – что значит шкала водостойкости?

В зависимости от потребности можно сделать бетон практически любого сопротивления давлению воды.

Обозначается W4, W5, W12, W16.

Цифра – это давление в атмосферах, которое будет выдерживать слой бетона определенной толщины.

Типичные рецептуры бетонов смотри: <http://www.ibeton.ru/a24.php>, в самом конце.

BV

Частично Вы ответили. Имелись в виду типовые места применения W4, W5, W12, W16.

Например, опора моста – W16, а на фундамент хватит и W5.

Это только ориентировочно и для понимания...

О, у меня рядом есть завод ЖБИ, спецстройбетон, и они производят до W18 – наверняка я смогу попытаться найти у них добавки.

Сергей Ружинский

Базовые параметры бетона (класс прочности, подвижность, морозостойкость, водопроницаемость) задаются на стадии проектирования, исходя из характера нагружения данной конструкции. Сказать заранее, что эта опора должна быть B20 W8, а другая по-иному, нельзя – это расчетные показатели. Бетонный завод должен их только исполнить – и все.

Для некоторых изделий заранее нормативно оговорены отдельные их параметры. Например, для тротуарной плитки **НОРМАТИВНО** указывается прочность и морозостойкость. И изготовители этой плитки **ОБЯЗАНЫ** обеспечивать такие параметры. То, что плитку приходится менять каждые два года, как раз и обусловлено их несоблюдением.

Если Вы посмотрите на таблицы типовых рецептур, что я указал, то увидите, что даже без гидрофобизаторов, на одних лишь пластификаторах можно делать очень и очень качественные бетоны. Просто соблюдать рецептуру.

А если туда еще и гидрофобизаторов плеснуть, то получится, как с советскими пусковыми шахтами – так сделали, что теперь взорвать не могут, в кислоте растворяют.

Чуть-чуть полюбите бетон, и он отплатит Вам сторицей...

Андрей Р

Подскажите, пожалуйста: нашел спиртовой раствор ГКЖ-11 и добавку МБ 10-01; что лучше мне приобрести? Для лучшего результата в замесах в моих условиях.

Serjio W

Нашел в Харькове ГКЖ, какой хочешь, 11-й, например, по 40 гривен за бутылку (на 625–1250 кг цемента). Говорят – Кремнийполимер, а контора – строительный вагончик на стройплощадке за кафе «Молодость» (угол Чкалова-Белгородское). Не знаете, что за контора?

И по практическому применению: привожу в порядок старый дом, чтоб можно было как-то жить, и думаю: коль скоро оно все так здорово, может, накупить себе этого добра побольше и вмешивать во все подряд – в данном случае вопрос об отмоستках (подошва дома), а также оштукатуривание цоколя, отливка бетонной плиты над сливной ямой и уличный туалет.

Что посоветуете?

Андрей Р

В фирме «Софэкс» есть ГКЖ, но они сказали, что эти добавки не обеспечат гидронепроницаемость. Думаю, обманывать им незачем, тем более отговорить меня покупать ее для этих целей.

Тогда уж и не знаю, стоит ли искать какие-то добавки для гидронепроницаемости или это не поможет?

Сергей Ружинский, вы почему-то перестали отвечать. Это связано с «глупыми вопросами»?

Ответьте хотя бы что-нибудь, тогда мы и ждать не будем.

Хотелось бы сделать такой непроницаемый погреб. Вода и сейчас у меня в земле стоит на 2-метровой глубине, что уж тут говорить про весну...

Сергей Ружинский

Химические добавки и модификаторы – это всего лишь «приправа» к блюду (бетону).

Приправа может многое изменить в блюде, но она НЕ СПОСОБНА на чудесные превращения. Ей по силам из рыбного супа сделать уху, но никак не борщ.

Не ждите от химдобавок и модификаторов для бетона чуда – традиционное бетоноведение весьма далеко от чудотворчества, процветающего в рекламных буклетах, и целиком зиждется на своих главных постулатах, из которых и проистекает потребность в тех или иных модификаторах.

Не надейтесь, что, швырнув в бетон чудодейственную пилюлю (даже заморскую), Вам удастся обмануть науку. Хотя, начитавшись рекламных буклетов, Вы можете уверовать в чудо, но скажу Вам по секрету, те же самые заморские чудотворцы действительно делают с бетоном чудеса, но не с помощью всяких там пилюль и снадобий, а используя весовое дозирование и многофракционные заполнители. У нас заполнители – это песок и щебень. У них – до 8 (!) фракций щебня и до 4 (!) фракций песка – компьютер подсказывает, как их правильно, в какой пропорции смешать, вот и происходит – нет, не чудо – элементарнейшее соблюдение основных постулатов традиционного бетоноведения. А оно-то и творит чудеса с бетоном.

Есть еще нетрадиционное бетоноведение (я его называю шарлатанским), когда долгую, нудную, кропотливую и дорогостоящую работу по приготовлению бетона подменяют рекламным «дуриловом» – дескать, ничего такого делать не нужно, традиционное бетоноведение отжило свое, а Ружинский – дурак по определению; купи мою чудодейственную пилюлю и будет тебе счастье.

1. Постулат традиционного бетоноведения – оптимизация гранулометрии заполнителей.

В бетоне есть заполнители различной крупности: щебень крупных и более мелких фракций, а также песок, заполняющий оставшиеся места. Все вместе склеивает цементный клей.

Чем плотнее мы уложим заполнители, тем меньше места потребуется для цементного клея. Соответственно, тем слабее будут усадочные явления в бетоне и его пористость.

Поэтому нужно хотя бы по ориентировочным таблицам базовых рецептов (<http://www.ibeton.ru/a24.php>) приготовить бетон, дозируя ингредиенты (песок/щебень/цемент/воду) ПО ВЕСУ, как там указано.

Почему по весу – ищите на форуме Ибетона и в разделе «Статьи» этого сайта – оптимизации гранулометрии там посвящено множество материалов.

2. Постулат традиционного бетоноведения – оптимизация водо-цементного соотношения (В/Ц).

Взаимодействие цемента с водой – химический процесс. Как и в любом ином химическом процессе, соотношение реагирующих веществ должно быть строго определенным – отклонение в любую сторону ухудшает параметры прохождения и результат реакции (в нашем случае это взаимодействие цемента с водой с образованием цементного клея).

Для системы «цемент + вода» наиболее оптимально соотношение, близкое к 0,3, то есть на 100 кг цемента нужно прилить всего 30 л воды. Если учесть и количество заполнителей, то получается, что на «кучу» весом 300–400 кг нужно прилить все те же 30 литров воды. Разумеется, получится полусухой состав, который невозможно будет применить в дело. Обычно такую смесь разжижают

водой. И наше оптимальное В/Ц увеличивается намного. Соответственно, параметры химического взаимодействия цемента с водой тоже ухудшаются. Это как недосол или пересол – и то и другое уже несъедобно.

Всего один процент увеличения В/Ц свыше оптимального снижает прочность бетона на 5%.

Мало того, «лишняя» вода после окончания реакции нарушит цельность бетона – он будет пронизан сетью пор и капилляров. По ним впоследствии вода сможет проникать через бетон, как через мелкое сито. Всего 1% увеличения В/Ц от оптимального снижает проницаемость бетона на 10–25%. На столько же процентов снижается и морозостойкость (сопротивляемость бетона попеременному замораживанию/оттаиванию).

Нужно и бетонную смесь разжижить, и «лишней» воды не прилить. Как это сделать? Существуют специальные вещества – химические модификаторы, называемые пластификаторами (в западной терминологии более точно отражается истинный механизм их действия – «пластификаторы-водопонизители»), которые при умеренном количестве воды позволяют разжижить бетонную смесь, используя иные физические эффекты (за подробностями опять отсылаю в «Статьи» на Ибетоне).

Так вот, применяя пластификаторы-водопонизители, мы уменьшаем количество воды, необходимой для получения подвижной бетонной смеси. И все! Больше ничего эти вещества не модифицируют, не изменяют.

Но именно **МЕНЬШЕЕ КОЛИЧЕСТВО ВОДЫ В БЕТОНЕ** и дает эффект прироста прочности и непроницаемости.

Так что если Вы в точности выполните пропорции для бетона, указанные в соответствующих таблицах (ссылку смотри выше), то действительно получите бетон с проницаемостью до W16 – 5 см слой такого бетона будет выдерживать гидростатическое давление воды в 16 кг/см² (в городской магистрали – 4–5 кг/см²). Залитый из такого бетона подвал не будет пропускать воду НИКОГДА, и никакие наружные гидроизоляционные обмазки и прочие ухищрения ему уже не понадобятся.

3. В бетоне, как бы Вы ни старались, всегда остаются мельчайшие поры и капилляры. По ним в бетон проникает влага – в подвале воды-то нет, но все равно сыро. Можно эти поры закупорить полностью или хотя бы большую их часть. Для этого на стадии приготовления бетона в его состав вводят специальные добавки, которые уплотняют поровую структуру бетона – закупоривают поры и капилляры. Типичные представители этого класса добавок – хлорное железо, нитрат кальция (селитра кальциевая), силикат-натриевые соединения (жидкое стекло).

Если бетон уже уложен, но его вдруг потребовалось защитить от проникновения воды (поднялись грунтовые воды) – то применяют так называемые

пенетрирующие составы. Ими покрывают бетонные поверхности, а входящие в них специальные вещества (обычно это нитросоединения) растворяются поступающей влагой и начинают перекристаллизовываться по направлению движения влаги. В итоге поры и капилляры закупориваются растущими кристаллами этих новообразований и течь прекращается.

4. Если полностью закупорить поры и капилляры, просачивание воды через бетон прекратится. Но бетон станет непроницаем и для водяных паров, и для воздуха. В некоторых случаях этого категорически нельзя допустить. Если существует разность температур, то существует и разность парциальных давлений водяных паров внутри и снаружи. А раз так, то складываются условия, когда эти водяные пары стремятся покинуть помещение (зимой). Препятствовать им, если это ограждающая конструкция (стена) в жилом и отапливаемом помещении, нельзя ни в коем случае. Как же быть? Каким образом наделить бетон способностью пропускать водяные пары, но не воду в форме жидкости?

Для этого существуют добавки – *гидрофобизаторы*. Они устилают изнутри поры и капилляры цементного камня и делают их водоотталкивающими (гидрофобными). Теперь водяные пары могут проходить свободно, а вода – нет.

Гидрофобизаторы можно вводить на стадии приготовления бетона – и тогда вся его толща приобретет подобные качества. А можно уже на стадии эксплуатации – тогда только наружный слой приобретет водоотталкивающие характеристики. Зачастую и этого достаточно.

Еще один нюанс.

Гидрофобизаторы бывают водорастворимые (ГКЖ-11) и маслорастворимые (ГКЖ-94). Так вот при наружной обработке, чтобы придать поверхности водоотталкивающие характеристики, водорастворимые гидрофобизаторы растворяют в большом количестве воды (1:18). Вода в данной ситуации – это «носитель». Она будет проникать в поры и капилляры цементного камня и нести с собой молекулы гидрофобного вещества. Затем вода испарится, а эти молекулы останутся, покроют стенки пор и капилляров (хемсорбция) и обеспечат им водоотталкивающие (гидрофобные) свойства.

Чтобы запустить весь этот механизм, необходимо создать определенные условия для растворенных гидрофобизаторов: поры и капилляры цементного камня НЕ ДОЛЖНЫ БЫТЬ предварительно обводнены. Проще говоря, поверхность должна быть сухой. Если этого невозможно обеспечить (стены подвала постоянно сырые, например), то поверхностная пропитка гидрофобизаторами бессмысленна.

Еще один нюанс – молекулы гидрофобного вещества должны закрепиться на внутренней поверхности пор и капилляров цементного камня толщиной в одну молекулу. Как это обеспечить? Элементарно – нужно только им не мешать, и они сами все сделают, как надо. Таким «не мешать» является ОБЯЗАТЕЛЬНОЕ

соблюдение концентрации. Сказано развести ГКЖ-11 в пропорции 1:18 с водой – сделайте это. Можно 1:20, можно 1:30, но никак не меньше рекомендованного соотношения. Если Вы сделаете пропорцию 1:10 (ну для себя же, казалось бы, не жалко), тем самым Вы грубейшим образом вмешаетесь в ту хемсорбцию, когда молекулы САМИ выстраиваются в нужном порядке. В итоге водопроницаемость бетона не уменьшится, а **УВЕЛИЧИТСЯ!**

Извините, ребята, тут еще много о чем можно рассказывать – статья получается. А статьям место в соответствующем разделе на Ибетоне.

Общий вывод. Для получения качественного бетона **НАИПЕРВЕЙШЕЕ** – соблюдение рецептуры.

Второе – обязательно использовать пластификаторы-водопонижители.

Третье – если есть возможность, вводить в состав бетона «уплотнители».

Четвертое – (это высший шик) – вводить в состав бетона гидрофобизаторы.

to Serjio W

Если Вы из Харькова, то подъезды на «угол Чкалова и Белгородского» и получите развернутую консультацию по всем этим вопросам непосредственно от меня. Там же Вы сможете приобрести и все необходимые добавки.

to Андрей

«В фирме «Софэкс» есть ГКЖ, но они сказали что эти добавки не обеспечивают гидронепроницаемость! Думаю, обманывать им незачем...»

1. При длительном контакте с водой (бассейн) гидрофобизирующие добавки действительно уменьшают (порой значительно), но не прекращают полностью водонасыщение водой. Молекулы гидрофобного вещества выстраиваются толщиной в одну молекулу, но в этом «строе» все-таки имеются некоторые «прорехи», через которые со временем (несколько месяцев или лет) вода найдёт себе путь.

Возможна также переориентация молекул – не буду Вам забивать голову.

2. Если поверхность имеет возможность хотя бы раз в несколько месяцев высыхать, то можно сказать, что даже наружная гидрофобизация с успехом будет выполнять свои функции – не пропускать воду.

3. Для наружной поверхностной гидрофобизации (ГКЖ-11 в пропорции 1:18 с водой) существует определенный срок сохранения гидрофобного эффекта – от 5 до 20 лет и выше, в зависимости от параметров воздуха. Если он загрязнен (пыль, окислы и т.д.), то молекулы гидрофобного вещества «перекрываются сверху» молекулами гидрофильных частичек из городского смога; в итоге гидрофобный эффект нивелируется, и нужно наружную гидрофобизацию повторить. В сельской местности воздух чище, поэтому и гидрофобный эффект сохраняется дольше, иногда на весь срок эксплуатации здания или сооружения.

4. Для увлажненных поверхностей наружная обработка водорастворимыми гидрофобизаторами тоже бессмысленна (смотри выше) – нужно закачивать маслорастворимые, инецировать под давлением (что для наружной поверхности протекающего подвала вообще физически невыполнимо – обычно так делают «отсечную» гидроизоляцию).

Для этих условий нужно применять пенетрирующие составы: помазали по-верху в составе штукатурки – через несколько месяцев течь воды прекратилась.

Мне неизвестны начальные условия, согласно которыми «Софэкс» давал вам рекомендации, – вполне возможно, что они правы.

ГЛАВА 6

УСКОРИТЕЛИ СХВАТЫВАНИЯ И ТВЕРДЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНОВ

Еще совсем недавно наш доморощенный Квазимодо страдал по Эсмеральде из каждого динамика. Очень красиво и образно страдал, следует отдать ему должное. Благодаря всего одной арии из французского мюзикла «Нотр-Дам» большинство простых людей вообще узнали эту красивую и трогательную историю. Даже те, кто никогда Гюго не читал.

Через некоторое время эта ария завоевала телевизионные экраны. Получила «Песню года» и кучу других наград. Мой брат, весьма просвещенный в музыкальных вопросах, взирал на мой щенячий восторг по поводу этой арии с удивлением и недоумением – теперь-то я понимаю, почему. Когда он дал мне диск с «настоящим» французским «Нотр Дам», я пережил шок. Оказывается, так горячо любимый мною Квазимодо вовсе не самый главный там – так, на задворках. А больше всего меня поразили партии Поэта. Батюшка тоже очень даже неплох, офицер бесподобен, а негр ошеломляюще красив. Все это оттеняет великолепный свет, простые, но работающие на подсознание декорации и совершенно феерическая массовка.

На фоне этого великолепия Эсмеральда показалась мне несколько мелковатой, а Квазимодо... Ну, в общем, остальные персонажи понравились мне больше.

Когда в конце представления артисты выходят «на поклон», уже не в образе, но еще в сценических костюмах и гриме, слушая, как заходится, в овациях зрительный зал, я подловил себя на мысли, что нельзя разрушать единство произведения, раздвигая его на отдельные «хитовые» куски, – надо сначала прослушать все, целиком. Ну а потом уже, под настроение, смаковать ту или иную арию.

Возвращаясь к нашим баранам, то бишь к теме данной главы («Ускорители»), постараюсь пропеть (уж как получится) именно целостную оперу. Ты, читатель, сам определишь, кто для тебя Поэт, а кто – Квазимодо.

6.1 Из истории вопроса

Тема ускорителей в современной технологии бетона чрезвычайно скандальная, умышленно запутанная и заангажированная самими производителями и продавцами химдобавок.

Такое положение вещей в первую очередь обусловлено тем, что с помощью ускорителей можно достаточно просто и дешево существенно модифицировать технологическую производственную цепочку. А это деньги, большие деньги. А поскольку деньги любят тишину, продавцы химических добавок стараются ее соблюдать, особенно не распространяясь на тему ускорителей. Гораздо охотней они пропагандируют свои полифункциональные составы, хотя немалую часть успеха по праву следует отдать удачно подобранным в их составах ускорителям.

Так, для тяжелых бетонов весьма критичный параметр – время оборачиваемости дорогостоящей формоснастки, становится возможным модифицировать не путем затратной и энергоемкой тепловлажностной обработки, а за счет «подстегивания» кинетики набора прочности химическим путем.

В легких бетонах (в частности, пенобетонах) с помощью ускорителей удается минимизировать влияние минералогии, тонины помола и длительности хранения цемента на качество продукции, «опередить» осадку свежеприготовленной пенобетонной матрицы ускоренным набором ее прочности.

Как это ни парадоксально, именно тема ускорителей – краеугольный камень также и экономики полифункциональных модификаторов. Простейшая композиция подобного рода состоит как минимум из двух компонентов – обычно это пластификатор второй (реже, третьей) группы эффективности и какой-нибудь ускоритель либо специально подобранная смесь ускорителей, обеспечивающих аддитивность (или даже синергизм) компонентов. Элементарный рецептурно-экономический анализ показывает, что стоимость именно ускорителя является основным ценообразующим фактором таких полифункциональных составов. Иными словами, кто «сидит» на дешевых ускорителях, тот владеет рынком полифункциональных добавок. Даже «легкая техногенность» (а порой и не очень легкая) некоторых составов не преграда для их массового применения – критерии экономической целесообразности перевешивают.

Из той же оперы и разразившиеся недавно в Украине баталии по степени применимости тех или иных полифункциональных модификаторов для бетонов в строительной индустрии. Все как у людей – с поливанием друг друга грязью в СМИ, научными и псевдонаучными отписками, подметными письмами, прилюдным полосканием грязного белья и т.п.

С одной стороны, это свидетельствует, что производство полифункциональных составов в Украине уже выросло из детских штанишек: защищая собственную песочницу, малышня уже не хнычет, а раздает зуботычины.

С другой стороны, общая культура подобных склок с ярко выраженной экономической подоплекой свидетельствует, что ее участники еще недостаточно четко понимают, зачем им эта «песочница» вообще нужна. Тяжелая артиллерия в виде центральных СМИ требует бережного и грамотного обращения. Поливая друг друга из ушата, нужно не расплескивать грязь на простого обывателя, абсолютно не посвященного в тонкости и предысторию подковерной борьбы. Иначе будущего покупателя легко превратить в затурканного и запуганного перестраховщика, который при слове «химдобавка» будет осенять себя крестным знамением.

6.2 Основные ускорители схватывания и твердения, применяемые в бетонных композициях

Ускорителей схватывания и твердения цементных композиций много. Существует несколько классификаций, основанных на механизме их действия на гидратацию цемента. Если же провести разделение по узкохимической принадлежности, то к ускорителям можно отнести следующие вещества:

Углекислые соли:

Калий углекислый (поташ) – K_2CO_3

Натрий углекислый (сода) – Na_2CO_3

Сернокислые соли:

Натрий сернокислый – Na_2SO_4 ;

Натрий тиосульфат + натрий роданид ($Na_2S_2O_3 + NaCNS$);

Гипс – $CaSO_4$

Нитраты:

Кальций азотнокислый $Ca(NO_3)_2$;

Натрий азотнокислый – $NaNO_3$

Аммонийные соли:

Карбамид (мочевина) – $CO(NH_2)_2$

Соли фосфорной кислоты:

Тринарийфосфат

Силикаты:

Силикат натрия (растворимое стекло) – $Na_2O \times SiO_2 + nH_2O$

Хлориды:

Алюминий хлористый – $AlCl_3$;

Железо хлористое – $FeCl_3$;

Барий хлористый – $BaCl_2$;

Магний хлористый – $MgCl_2$;

Кальций хлористый – CaCl_2 ;

Натрий хлористый – NaCl ;

Кислота соляная – HCl ;

Кэл – (хлорокись кальция)

Механические смеси различных ускорителей;;

Нитрит-нитрат кальция (ННК);

Нитрит-нитрат-хлорид кальция (ННХК);

Нитрит-нитрат-хлорид кальция + мочевины (ННХКМ);

Сода+поташ+поластификатор

Из всего этого перечня наиболее распространенными и эффективными остаются хлориды и смеси на их основе. Высочайшая эффективность при низкой цене – залог их популярности во всем мире. Проводимая в последнее время антирекламная кампания по отношению к хлоридам не имеет ничего общего с действительным положением вещей. Ее первопричина как раз и кроется в низкой стоимости хлоридов. А обыгрывание факта, что, дескать, хлориды корродируют арматуру, для множества видов бетонов не то что спорно, но и просто некорректно, что свидетельствует об отсутствии здравого смысла и элементарных знаний у потребителей. О какой коррозии, скажите на милость, может идти речь в технологии пенобетонов, в производстве элементов мощения, бетонных блоков и т.д., где арматуры нет вообще?

Продавать, а тем более завозить из-за рубежа пусть даже и высокоэффективные, но дешевые составы, коими являются хлоридные ускорители (прежде всего хлориды кальция и натрия), экономически нецелесообразно. Тем более что их распространенность в природе настолько высока, что в любой стране мира и своих предостаточно.

6.3 Углекислые соли

6.3.1 Натрий углекислый

Об ускоряющем действии соды (углекислого натрия $\text{Na}_2(\text{CO}_3)$) на цемент известно уже давно. Еще в 1903 г. академик Байков А. А., основоположник теории твердения цементов, в своих работах упоминал о соде как о соли, вызывающей чрезвычайно быстрое схватывание (см. *таблицу 6.3.1-1*)

Из этой таблицы видно, что сода чрезвычайно активно ускоряет процессы схватывания цементов. Это обстоятельство сильно затрудняет работы с бетоном при добавках соды, и может привести к значительному снижению прочности, так как не всегда можно успеть уложить массу бетона в формы до начала схватывания.

Добавка соды в % от веса цемента	Начало схватывания (час–мин)	Конец схватывания (час–мин)
0	1–40	5–05
2	0–05	0–45
5	0–03	0–17

Таблица 6.3.1-1 Изменение сроков схватывания при добавках соды

Ускорение твердения бетонов и растворов в раннем возрасте при добавках соды происходит за счет окончательной прочности, так что по истечении определенного времени бетон без добавки соды по этому параметру превзойдет бетон с добавками (см. *таблицу 6.3.1-2*).

Данные этой таблицы говорят о том, что в возрасте трех-пяти дней добавка увеличивает прочность, а через 28 дней уже налицо снижение относительной прочности у образцов с добавкой по сравнению с образцами без добавки.

Все эти данные однозначно свидетельствуют, что сода может найти применение в строительных технологиях только в тех случаях, когда относительное снижение последующей прочности оправдывается необходимостью получения быстросхватывающегося и быстротвердеющего бетона или раствора, что может иметь место при всякого рода аварийных работах. И то лишь в отсутствие более эффективных ускорителей схватывания (смотри далее).

6.3.2 Поташ

Давно замечено, что внесение в почву золы приводит к увеличению урожайности. О том, что ее активным началом является карбонат калия K_2CO_3 – поташ, стало известно гораздо позже. До разработки промышленных способов производства соды поташ играл исключительно важную роль в различных производствах: стекольном, текстильном, мыловаренном и др. Его получали сжиганием древесины, обработкой водой золы с последующим выпариванием водного раствора. Из золы сожженного 1 м³ вяза получали 0,76 кг поташа, ивы – 0,63 кг, липы – 0,50 кг. В России лес бездумно сжигали для производства поташа до середины XIX в. Содержание калия в золе от сгоревших растений обычно очень высокое: в соломе злаков – от 9 до 22%, гречишной соломе – 25–35%, стеблях подсолнечника – 36–40%, в торфе – 0,5–4,7%. Само слово «поташ» произошло от древне-немецкого «пот» (горшок) и «аш» (зола), так как щелок, получающийся при обработке золы водой, выпаривался в горшках.

В XVI–XVII вв. поташ получали в огромных количествах из древесной золы, которую вываривали в больших котлах. Из поташа приготавливали глав-

Возраст раствора в днях	Добавка соды			
	0 %	2 %	6 %	10 %
3	10,6	13,5	29,1	26,9
5	24,2	25,6	33,4	25,2
28	64,2	64,2	62,8	60,8

Таблица 6.3.1-2 Влияние добавок соды на прочность в кг/см² цементно-песчаного раствора пропорции 1:3 и В/Ц= 0.58

ным образом очищенную калийную селитру, которая шла на изготовление черного пороха. Особенно много поташа производилось в России, в лесах вблизи Арзамаса и Ардатова, на передвижных заводах (майданах), принадлежавших боярину Б. И. Морозову, родственнику царя Алексея Михайловича. Такие заводы вырабатывали до 770 т поташа в год.

В тот же период производство поташа в Украине было менее централизованным, рассредоточенным по отдельным хозяйствам: каждый уважающий себя зажиточный казак имел собственный микрозаводик по его производству – технология-то элементарная, к тому же чрезвычайно доходная.

Сегодня поташ применяется в основном для получения моющих средств (жидкое мыло). Он также служит сырьем при производстве тугоплавкого стекла и хрусталя и в качестве компонента во множестве химических технологий.

Применение поташа в строительстве обусловлено в первую очередь особенностями гидратации цемента. При пониженных температурах она сильно замедляется, а на морозе и вовсе прекращается. Добавка поташа помогает устранить этот недостаток – строить становится возможным даже при -50°C . Поэтому поташ является традиционной противоморозной добавкой-анtifризом в строительстве.

В водной среде поташ мгновенно гидролизует, образуя сильную едкую щелочь. Она портит одежду и обувь; попадая на открытые участки тела, вызывает язвы, а в глаза – верную потерю зрения. Широкое применение поташа в СССР в качестве противоморозной добавки было обусловлено, в том числе, и пренебрежением техникой безопасности – сами знаете, кто у нас строил на Крайнем Севере и в Восточной Сибири.

С пуском Ачинского глиноземного комбината содо-поташная смесь (отход основного производства) стала местной для Восточной Сибири, а ее применение приобрело массовый характер. Сибирские морозы замедляли гидратацию цемента, поташ ускорял ее. Таким образом они компенсировали друг друга.

При положительных температурах ускоряющие свойства поташа выражены настолько сильно, что без соответствующего их замедления химическим путем работать становится просто невозможно – бетон схватывается прямо

в бетономешалке. Оригинальный выход нашли красноярские ученые из местного филиала ПромстройНИИпроекта. Они предложили добавлять в поташ пластификатор с ярко выраженным замедляющим эффектом. Наиболее подходящим для этих целей оказался технический лигносульфонат – бросовый отход лесохимического производства. В итоге удалось получить бетонные смеси повышенной пластичности с противоморозным эффектом, но без излишнего ускорения схватывания.

Если даже не касаться техники безопасности, то и без этого в методологии применения поташа натыкаешься на сплошные НЕЛЬЗЯ.

Нельзя применять в составе бетонов и растворов, где есть активный кремнезем, где возможен контакт с известью и силикатным кирпичом; нельзя применять для изделий, эксплуатирующихся при повышенной влажности. Поташ мало эффективен в крупнопористых и беспесчаных бетонных смесях, а также в легких бетонах типа керамзитобетона. Поташ не рекомендуется к применению в условиях положительных температур либо колебания температуры с переходом через 0 °С. Поташ разрушает изоляцию проводов, поэтому его нельзя применять в местах, где будет проложена скрытая электропроводка.

Из-за ярко выраженной щелочной реакции следует остерегаться попадания поташа на кожу и особенно в глаза. Приготавливать водные растворы поташа и работать с ними следует в комбинезоне, очках, резиновых сапогах и перчатках, спецодежду хранить в специальных шкафах. В плохо вентилируемых помещениях необходимо использовать респираторы и противогазы.

На днях беседовал с технологом одной из фирм (производством тротуарных камней занимаются); жаловалась на используемую ими российскую комплексную добавку, искала достойную замену. Всем, мол, хороша – и пластифицирует отлично, и ускоритель распрекрасный, и дешева. Одно «но» – рабочие отказываются работать с этой добавкой. У самой все руки в язвах, а ее помощница, молодая девушка, и вовсе уволилась, сказав напоследок: «Мне еще детей рожать». Что скрывалось за торговым наименованием этой добавки, она не знала, но подозревала нехорошее. И не зря – после нескольких моих уточняющих вопросов стало очевидно, что давно известную ССП (сода+поташ+пластификатор) «переименовали» и «районировали» для условий теплой Украины. После того, как она узнала, что вскоре произойдет с их тротуарными камнями, она вообще в ужас пришла.

6.3.2.1 Воздействие поташа на основные минералы цементного клинкера на стадии схватывания

Одной из причин, препятствующей широкому применению поташа в качестве ускорителя схватывания и твердения, является вызываемое им очень быстрое схватывание цемента. Для большинства портландцементов его добавка

Минерал	Добавка поташа в % от массы минерала	Начало схватывания		Конец схватывания	
		час–мин	%	час–мин	%
C_3S	0	2–05	100	3–10	100
	2	0–40	32	0–55	29
	5	0–47	37	0–60	31
	7	1–17	62	1–32	48
	11	2–20	112	3–15	102
C_3S	0	2–25	100	3–00	100
	2	0–45	31	1–05	36
	5	1–30	62	1–50	61
	7	1–48	74	2–18	77
	10	1–10	48	1–40	56
C_3A	0	0–01	100	0–18	100
	3	0–01	100	0–05	28
	7	0–01	100	0–05	28
	10	0–01	100	0–05	28
	15	0–01	100	0–05	28
C_4AF	0	0–20	100	0–30	100
	2	0–20	100	0–22	73
	4	0–16	80	0–19	64
	6	0–12	60	0–13	43
	8.5	0–09	45	0–10	33

Таблица 6.3.2.1-1 Влияние добавки поташа на сроки схватывания основных минералов цемента

вызывает начало схватывания уже через 10–15 минут, что фактически исключает централизованное приготовление бетонов и растворов с добавкой поташа. Степень влияния поташа на отдельные минералы цементного клинкера отражены в *таблице 6.3.2.1-1*.

Как видно из этой таблицы, ускоряющее действие поташа на схватывание всех основных минералов проявляется уже в малых дозировках.

Особенно критичен к воздействию поташа трехкальциевый алюминат. Его схватывание и так начинается практически мгновенно, с момента затворения. Отрегулировать длительность схватывания этого минерала помогает добавка гипса, вводимая при помоле. Но в присутствии даже незначительных добавок поташа этот механизм нарушается: в присутствии поташа образуются

гидрокарбоалюминаты кальция, которые обволакивают зерна S_3A и снижают активность иона SO_4 из состава гипса-замедлителя.

Причиной сокращения сроков схватывания силикатов кальция служит образование при взаимодействии поташа с известью нерастворимого $CaCO_3$, что способствует протеканию реакции в сторону образования извести, снова вступающей во взаимодействие с ионом CO_3 с образованием $CaCO_3$ и т. д.

Для замедления схватывания бетонов с добавками поташа были опробованы множество веществ-замедлителей – водорастворимые фосфаты, окись цинка, муравьиная и бензойные кислоты, жирные кислоты, глицерин, глюкоза, технические лигносульфонаты.

По совокупности полученных результатов, в качестве эффективного замедлителя схватывания бетонов с добавкой поташа было предложено использовать ЛСТ (технические лигносульфонаты). Помимо замедляющего эффекта ЛСТ оказывает на бетоны ярко выраженное пластифицирующее воздействие. Но в дозировке свыше 0,3% от массы цемента их уже практически не используют – уж слишком сильно начинает сказываться наличие в ЛСТ примесей, редуцированных сахаров, сильно замедляющих схватывание и твердение. В комплексе с таким эффективным ускорителем схватывания, как поташ, становится вполне возможным повысить дозировки ЛСТ до 0,5%, в этом случае ускоритель (поташ) и замедлитель (ЛСТ) взаимно нивелируются, при этом пластичность бетона повышается.

6.3.2.2 Воздействие поташа на основные минералы цементного клинкера на стадии твердения

Трехкальциевый силикат (C_3S) – наиболее активный минерал цемента. Он характеризуется высокой прочностью и быстрым ее нарастанием. Введение поташа интенсифицирует процесс твердения, но затем, начиная с 7-дневного возраста и во все последующие сроки, прочность этого минерала с добавкой поташа становится несколько ниже, чем без добавки.

Поташ резко ускоряет твердение двухкальциевого силиката (C_2S). Увеличение прочности образцов по сравнению с контрольными пропорционально количеству добавки. В дозировке 10–15% поташа прочность образцов превышает эталонную в 2,5–4,0 раза и, начиная с 3-месячного возраста, по абсолютным значениям приближается к прочности образцов трехкальциевого силиката, затворенных на чистой воде.

Затворение трехкальциевого алюмината (C_3A) на растворах поташа приводит к значительному повышению прочности.

Изменение прочности четырехкальциевого алюмоферита (C_4AF) зависит от количества поташа, вводимого с водой затворения. Наиболее оптимальна добавка в 3%. В начальный период твердения наиболее эффективны повышенные

№ клинкера исследованных цементов	Расчетный минералогический состав, %			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
I	36,4	36,4	14,6	8,2
II	66,0	10,0	4,0	17,0
III	10,0	68,0	3,6	16,3
IV	53,0	20,0	11,0	11,0
V	56,5	20,5	5,0	14,0

Примечание:

Использованы 5 типовых цементов, по своему минералогическому составу наиболее характерных для цементной промышленности Украины и России.

Таблица 6.3.2.2-1 Минералогический состав исследованных цементов

№ цемента	Добавка поташа в %, от массы цемента	В/Ц	Прочность при сжатии в кг/см ² в возрасте (дней)				
			3	7	14	28	90
I	–	0,60	48	60	75	95	125
	3	0,60	75	90	105	157	170
	7	0,60	130	130	130	165	195
	10	0,44	125	125	125	155	180
	15	0,44	120	120	145	170	200
II	–	0,44	130	170	170	225	225
	3	0,44	150	165	165	185	185
	7	0,44	150	150	155	185	185
	10	0,44	150	150	155	180	195
	15	0,44	150	150	155	180	180
III	–	0,44	40	57	92	122	145
	3	0,44	65	83	105	112	160
	7	0,44	56	80	107	112	150
	10	0,44	57	80	107	112	145
	15	0,44	71	80	110	112	150
IV	–	0,44	152	184	206	200	255
	3	0,44	150	150	150	155	187
	7	0,44	155	155	155	155	217
	10	0,44	155	155	155	155	202
	15	0,44	120	137	155	155	217
V	–	0,44	90	135	165	180	200
	3	0,44	95	122	152	165	170
	7	0,44	90	120	140	150	165
	10	0,44	100	120	140	150	165
	15	0,44	100	105	135	150	160

Примечание:

- Для испытания был использован цементно-песчаный раствор пропорции 1:3;
- Температура твердения +20 °С.

Таблица 6.3.2.2-2 Прочность растворов на цементах различного минералогического состава, с добавкой поташа

Концентрация раствора, %.	Плотность раствора при 20 °С, г/см ³	Температурный коэффициент плотности раствора	Содержание ХН в 1 л безводного раствора (кг)
4	1,035	0,00027	0,041
8	1,073	0,00033	0,086
12	1,110	0,00037	0,123
16	1,149	0,00041	0,184
20	1,190	0,00044	0,238
22	1,211	0,00046	0,266
24	1,232	0,00047	0,296
26	1,254	0,00049	0,326
28	1,276	0,00050	0,357
30	1,298	0,00051	0,390
32	1,321	0,00052	0,423
34	1,344	0,00053	0,457
36	1,367	0,00053	0,492
38	1,390	0,00054	0,528
40	1,414	0,00055	0,566

Таблица 6.3.2.2-3 Содержание поташа в растворах и их плотность

добавки поташа, но с увеличением возраста становятся оптимальными дозировки в 7 % и менее.

6.4 Силикат натрия

Растворимое стекло (натриевое) так же, как и сода, сильно ускоряет процессы твердения цементов. Растворимое стекло представляет собой коллоидный раствор натриевых силикатов в воде. Существует и аналог натриевому – калиевое стекло, но оно встречается гораздо реже. По своему воздействию на цементные композиции натриевое и калиевое растворимое стекло аналогичны.

Достаточно достоверные сведения об изготовлении первого растворимого стекла имеются уже в трудах средневековых алхимиков (1520 г.). Но только в 1818 г. немецкий ученый Йоган Фукс научно обосновал химию и физику его получения. По результатам его трудов, в 1826 г. был построен первый завод по производству растворимого стекла. С этого момента и началось его широкое применение в различных отраслях промышленности.

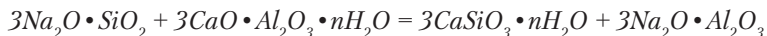
Химический состав натриевого растворимого стекла выражается формулой:



По ней видно, что растворимое стекло не имеет постоянного состава, и соотношение между отдельными составными частями может меняться. Отношение $SiO_2 : Na_2O = M$, показывающее, сколько кремнекислоты приходится на единицу окиси натрия, называется силикатным модулем стекла. Величина его обычно колеблется в пределах от 2,2 до 3,5. Чаще всего производится стекло с модулем 2,6–2,8.

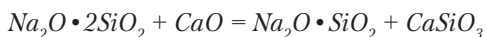
Количество воды может колебаться в определенных пределах. В зависимости от этого меняется консистенция растворимого стекла в коллоидном растворе – плотность, измеряемая градусами шкалы Беме или показаниями удельного веса. Заводы обычно отпускают растворимое стекло плотностью 40–50 °Ве (плотностью 1,38–1,50), и затем на месте работ оно разбавляется водой до нужной концентрации.

При добавлении растворимого стекла к воде, идущей на затворение цемента, его сроки схватывания сильно сокращаются (см. таблицу 6.4-1). Обусловлено это тем, что в результате химической реакции между щелочным силикатом (жидкое стекло) и составными частями цементного клинкера (гидроалюминат кальция) образуются коллоидные гидросиликат кальция и алюминат натрия по уравнению:



Образующийся в составе бетона алюминат натрия ($3Na_2O \cdot Al_2O_3$) и являясь очень сильным ускорителем его схватывания.

Кроме того, проходит еще одна реакция между жидким стеклом и известью, находящейся в цементе с образованием силиката кальция:



Силикат кальция ($CaSiO_3$) очень прочный и плотный материал. Например, пористый кусок негашеной извести, обработанный раствором жидкого стекла, становится настолько плотным и прочным, что его можно полировать. Отлагаясь в порах твердеющего камня, силикат кальция придает ему повышенную плотность и водонепроницаемость.

Добавка растворимого стекла в % от массы цемента	Начало схватывания (час–мин)	Конец схватывания (час–мин)
0	1–40	5–05
2	1–02	3–10
5	0–38	2–47

Таблица 6.4-1 Влияние добавки растворимого стекла на сроки схватывания цемента

Возраст в сутках	Добавка растворимого стекла				
	0 %	4 %	8 %	12 %	16 %
7	100	108	108	157,6	131,5
28	100	76,6	76,6	74,4	72,5

Таблица 6.4-2 Влияние добавок соды на прочность в % от бездобавочного (для цементно-песчаного раствора пропорции 1:3 и В/Ц=0.58)

Вот эта совокупность свойств – ускорение схватывания бетона от образования алюмината натрия и пониженная проницаемость порового пространства за счет кольматирующего действия силиката кальция – и обусловила широкое применение жидкого стекла в качестве добавки для получения водонепроницаемого бетона для аварийных работ (заделка протечек, зачеканка швов и т. д.).

О характере влияния растворимого стекла на прочность можно судить по таблице 6.4-2.

Как и в случае с содой, растворимое стекло как ускоритель твердения цементов находит применение только в исключительных случаях, когда получить высокую начальную прочность важнее, чем высокую последующую, 28-суточную (марочную).

Нужно также обязательно отметить, что растворимое стекло часто бывает непостоянным как по химическому составу, так и по плотности. Проконтролировать этот показатель, хотя бы частично, поможет *таблица 6.4-3*.

6.4.1 Пенобетон на основе жидкого стекла

Жидкое стекло в качестве вяжущего используется для получения прочных теплоизоляционных материалов, способных работать при повышенных эксплуатационных температурах до 800 °С. Это очень ценное и важное свойство делает его незаменимым для теплоизоляции различных высокотемпературных трубопроводов на силовом и паросиловом энергетическом оборудовании.

В качестве пенообразователя вполне подходит обыкновенное хозяйственное мыло. Наполнителем могут выступать две формы кремнезема – кристаллического SiO_2 (обыкновенный песок) и аморфного SiO_2 (тонкомолотое стекло, минеральная вата и т. д.).

Для изготовления жаростойкого пенобетона потребуется также натриевое жидкое стекло плотностью 1,3–1,45 г/см³ с силикатным модулем 2,45 и выше. В качестве отвердителя выступает кремнийфтористый натрий в виде технического порошка. Заполнитель – песок молотый до удельной поверхности в 4500 см²/г или минеральная вата.

Состав (в %)		Содержание растворенного силиката, %	°Ве (градусы Беме)	Удельный вес (г/см ³)	Силикатный модуль жидкого стекла
Na ₂ O	SiO ₂				
0,64	1,05	1,69	2,3	1,0061	1,69
1,90	3,13	5,03	8,0	1,0584	
4,04	6,65	10,69	14,0	1,1069	
6,02	9,91	15,93	20,4	1,1673	
10,14	16,70	26,84	33,2	1,2970	
12,04	19,82	31,86	39,2	1,3705	
13,00	21,40	34,40	41,7	1,4037	
13,93	22,94	36,87	44,4	1,4414	
2,99	5,98	8,97	11,1	1,0829	2,06
4,50	9,00	13,50	17,0	1,1328	
6,06	12,12	18,18	22,0	1,1789	
8,43	16,86	25,29	30,5	1,2664	
9,38	18,76	28,14	33,7	1,3028	
10,53	21,06	31,59	33,7	1,3426	
11,12	22,24	33,36	38,8	1,3653	
11,55	23,10	34,65	40,3	1,3849	
12,01	24,02	36,03	41,6	1,4023	
12,43	24,86	37,29	42,8	1,4188	
12,89	25,78	38,67	44,5	1,4428	
17,20	34,40	51,60	55,6	1,6219	
18,42	36,84	55,26	58,8	1,6821	
0,52	1,21	1,73	2,1	1,0147	2,40
1,03	2,41	3,44	4,4	1,0313	
3,02	7,06	10,08	12,4	1,0935	
4,99	11,66	16,65	20,0	1,1600	
8,29	19,64	27,93	32,3	1,2866	
9,25	21,92	31,17	35,7	1,3266	2,44
10,20	24,17	34,37	39,8	1,3783	
10,82	25,64	36,46	41,2	1,3969	
11,40	27,00	38,40	43,1	1,4230	
11,98	28,39	40,37	45,2	1,4629	
0,55	1,80	2,35	2,6	1,0183	3,36
2,06	6,72	8,78	9,9	1,0733	
3,03	9,89	12,92	14,8	1,1499	
4,03	13,15	17,18	18,9	1,1137	
5,08	16,58	21,66	23,5	1,1934	
5,97	19,49	25,46	28,1	1,2404	
6,49	21,18	27,67	30,4	1,2653	
6,88	22,46	29,34	32,0	1,2832	
7,47	24,38	31,85	34,9	1,3170	
8,04	26,24	34,28	37,4	1,3476	

Таблица 6.4-3 Зависимость удельного веса растворов жидкого стекла от процентного содержания растворенного силиката

Концентрация хозяйственного мыла в пенообразователе, %	Плотность получаемого пенобетона кг/м ³	Прочность на сжатие пенобетона кг/см ²
10	431	13,4
20	380	12,5
30	300	10,0
40	310	11,0
50	306	9,5
60	308	9,0
70	301	7,4
80	304	8,0
90	308	6,0
100	300	5,5

Таблица 6.4.1-1 Составляющие пенобетона, расход на 1 литр смеси

Приготовление пенобетона на жидком стекле заключается в перемешивании жидкого стекла, отвердителя (кремнийфтористого натрия) с заполнителями и отдельно приготовленной пеной.

Твердеет он в естественных условиях при температуре более +5 °С в течение 1–2 суток. Сушка при температуре +60–80 °С сокращает процесс твердения до 10 часов.

Физико-механические свойства жидкостекольного пенобетона можно гибко менять, варьируя концентрацию мыльного раствора (см. *таблицу 6.4.1-1*):

Все составы изготавливались по следующей рецептуре:

- натриевое жидкое стекло плотностью 1,34 г/см³ – 250 г;
- кремнийфтористый натрий – 50 г;
- молотый песок – 150 г;
- пенообразователь – 36 см³.

Пенобетон на жидком стекле достаточно прочен. Он даже прочнее автоклавного газосиликата – при одинаковой плотности. Никакой другой вид пенобетона на цементной основе не может похвастаться подобным (см. *таблицу 6.4.1-2*).

Коэффициент теплопроводности пенобетона на жидком стекле, определенный методом постоянного источника тепла. Приведенные в *таблице 6.4.1-3* данные свидетельствуют, что теплопроводность пенобетона зависит не только от средней плотности, но и от строения веществ, входящих в его состав. При средней плотности в 200 кг/м³ коэффициент теплопроводности на аморфных формах кремнезема (тонкомолотое бутылочное стекло, минеральная вата) ниже, чем на кристаллических (молотый кварцевый песок) и составляет 0,066 и 0,071 Вт/(м•°С) соответственно.

Термическую стойкость пенобетона на жидком стекле проверяли на образцах-кубах с ребром размером 7.07 см.

Средняя плотность пенобетона кг/м ³	Прочность пенобетона в кг/см ²	
	Пенобетон на жидком стекле	Ячеистый газосиликат
100	0,9	–
200	3,8	–
300	10	–
400	22	15
500	39	25
600	58	33
700	74	50
800	92	72
900	110	98

Таблица 6.4.1-2 Зависимость прочности пенобетонов различного вида

Вид пенобетона	Средняя плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м•°С).		Изменение теплопроводности пенобетона по отношению к пеностеклу(Δλ), %
		пенобетон на жидком стекле	пеностекло равной плотности из расплава (по СНиП, для сравнения)	
Пенобетон на основе жидкого стекла с наполнителем из кристаллического SiO ₂ (молотый песок)	100	0,051	–	–
	150	0,062	–	–
	200	0,073	0,0697	+ 4,7
	250	0,081	0,081	0
	300	0,093	0,093	0
	350	0,109	0,102	+ 6,9
	400	0,130	0,116	+ 12
То же, наполнитель – аморфное SiO ₂ (молотое бутылочное стекло, мин. вата)	204	0,066	0,0697	– 5,3
	240	0,070	0,079	– 11,4
	260	0,072	0,0837	– 13,9

Таблица 6.4.1-3 Теплопроводность пенобетона на жидком стекле в зависимости от плотности и вида заполнителя

Образцы нагревали при 720 °С в течение 45 минут, затем извлекали из печи, охлаждали до +30–40 °С в потоке воздуха 0 °С и снова помещали в печь. До разрушения образцы выдержали 12 циклов смены температуры.

Предельная температура начала деформации образцов-цилиндров диаметром 36 и высотой 50 мм под нагрузкой 0.5 кг/см² составила 760 °С. Таким образом, пенобетон на жидком стекле может быть использован при температуре до 800 °С.

6.5 Сернокислые соли

6.5.1 Натрий сернокислый – Na₂SO₄

Придворная знать в средние века не отличалась умеренностью в еде и питье. Проблемы кишечных расстройств, обусловленных перееданием, немало беспокоили высший свет. И когда в 1658 г. придворный аптекарь Иоганн Глаубер предложил в качестве «реактивного» слабительного использовать сульфат натрия, этот спасительный для обжор препарат был назван «глауберовой солью» – в честь целителя.

В промышленности (СН) сульфат натрия (глауберова соль) очень широко применяется в производстве красителей, стекла и соды. В основном его получают естественным путем – из минерала мирабилита. Крупнейшим в мире поставщиком мирабилита является залив Кара-Богаз-Гол на Каспии. Дешевизна и доступность (СН) сделала его очень привлекательным для многих отраслей промышленности, в том числе и для строительной индустрии.

При написании настоящей главы я решил поднять имеющиеся материалы по сульфату натрия, и столкнулся с удивительным фактом: три дня сидел, но, перебрав почти тысячу книг и десятков тысяч статей из периодики, я так и не нашел комплексного и всеобъемлющего исследования по (СН)!

Да, давно гостирован, да, применяется, все и везде о нем упоминают. Но информация присутствует в форме каких-то скудных фрагментов. Мало того, еще в 1977–1978 гг. выдающиеся советские бетоноведы Баженов и Волженский устроили, что называется, форменную перепалку на страницах журнала «Бетон и железобетон», ведущего периодического издания по строительным технологиям той поры; перемыли косточки как друг другу (культурно и цивилизованно, разумеется), так и сульфату натрия под горячую руку. И с тех пор – как обрезаю. Видать, утверждение, что некоторые щелочные соли, и в первую очередь сульфат натрия, резко негативно влияют на длительную прочность цементного камня, особенно при малых В/Ц, действительно имеет место – нет дыма без огня. (Негативное влияние сернокислых солей, в частности, сульфата натрия было доказано еще исследованиями Бутта Ю. М. и Рояка Г. С. в 1956 г.)

Западное бетоноведение в большинстве своем также игнорирует (СН) как ускоритель. Во всяком случае, в знаменитой книге канадского бетоноведа Рамачандрана «Добавки в бетон» о нем практически не упоминается.

Механизм действия сульфата натрия заключается в том, что, реагируя с гидратом окиси кальция, выделяющимся из цемента, он образует гипс по формуле:



Образующийся мелкодисперсный гипс реагирует с цементным клинкером и способствует более быстрой выкристаллизации новообразований из цементного геля. Наиболее эффективно сернокислый натрий как ускоритель проявляет себя на шлако- и пуццолановых портландцементях. При тепловлажностной обработке его эффективность увеличивается, хотя следует особо оговорить влияние сульфата натрия (в той или иной степени данные выводы будут справедливы и для других сернокислых солей – электролитов) на марочную 28-суточную прочность пропаренных бетонов в реальных диапазонах водоцементных соотношений. Ведь не секрет, что в производственных условиях В/Ц далеко от оптимальных значений. Данные проведенных экспериментов (по Б. А. Усову) сведены в *таблицу 6.5.1-1*.

Анализ таблицы однозначно свидетельствует, что для пропариваемых бетонов существует некий оптимум дозировок (СН) в зависимости от расхода цемента и принятого В/Ц. В приложении к пенобетонам, с их большими В/Ц и расходами цемента, допустимые дозировки (СН) настолько низкие, что говорить об использовании данного ускорителя в качестве индивидуальной ускоряющей добавки для пенобетонов, подвергаемых ТВО, не представляется возможным; допустимая дозировка (СН), при которой не произойдет сброса прочности после ТВО, не способна значительно ускорить схватывание и твердение пенобетона, чтобы предотвратить его осадку.

В то же время по ряду своих воздействий на цемент ускоряющие и пластифицирующие добавки дополняют друг друга в плане сокращения расхода цемента. Как правило, там, где не эффективен индивидуальный ускоритель твердения (длительный режим ТВО, повышенный расход цемента, тонкомолотый высокомарочный цемент и т. д.), эффективной оказывается пластифицирующая добавка, и наоборот. Это свидетельствует, о том, что оптимальной для этих целей может оказаться комплексная добавка, состоящая из ускорителя твердения и пластификатора, например 1,5 % (СН) + 0,15 % (ЛСТ).

6.5.2 Натрий тиосульфат – $Na_2S_2O_3$ + натрий роданид – NaCNS

Описывая индивидуальные добавки, в данном случае я вынужден описывать комплекс (натрий тиосульфат+натрий роданид) – это близнецы-братья.

Вид и расход цемента в бетоне	В/Ц	Добавка (СН), в % от массы цемента					Предельно допустимая добавка (СН) для данного расхода цемента
		0	1	2	3	3.5	
Бетон на белгородском (низкоалюминатном) цементе, с расходом 250 кг/м ³	0,4	67	78	85	86	84	2,7
	0,46	62	77	88	89	86	2,5
	0,52	57	68	73	72	71	2,3
	0,58	51	62	65	64	63	1,8
	0,64	45	57	58	57	56	1,2
Бетон на белгородском (низкоалюминатном) цементе, с расходом 350 кг/м ³	0,4	59	69	74	73	73	2,5
	0,46	55	63	68	68	67	2,3
	0,52	48	59	62	61	60	2,1
	0,58	45	54	56	53	52	1,7
	0,64	40	48	50	48	47	1,2
Бетон на белгородском (низкоалюминатном) цементе, с расходом 450 кг/м ³	0,4	56	64	67	67	66	2,2
	0,46	51	59	63	61	59	2,0
	0,52	47	54	56	54	53	1,7
	0,58	43	49	50	47	46	1,2
	0,64	39	45	43	41	38	0,9

Примечание:

Таблица составлена по результатам графических данных с погрешностью ± 1 . Длительность пропаривания – 9 часов.

Таблица 6.5.1-1 Влияние добавки (СН) на прочность пропаренного бетона в зависимости от расхода цемента и принятом В/Ц в % от R28

Концентрация раствора, %.	Плотность раствора при 20 °С, г/см ³	Температурный коэффициент плотности раствора	Содержание безводного СН в 1 литре раствора (кг)
1	1,007	0,00021	0,010
2	1,016	0,00023	0,020
3	1,026	0,00025	0,031
4	1,035	0,00027	0,041
5	1,044	0,00029	0,052
6	1,054	0,00030	0,063
7	1,063	0,00032	0,074
8	1,072	0,00033	0,086
9	1,082	0,00035	0,097
10	1,092	0,00036	0,109
11	1,101	0,00038	0,121
12	1,111	0,00039	0,133
13	1,121	0,00041	0,146
14	1,131	0,00042	0,158
15	1,141	0,00043	0,171

Таблица 6.5.1-2 Содержание СН в растворах и их плотность

Получаются они совместно, разделять их на составляющие никто не станет – во всяком случае, для строительных нужд годится и подобная смесь. Тем более что в определенных соотношениях они способны усиливать действие друг друга как ускорителей, проявляя аддитивный, а если верить некоторым исследованиям, то даже и синергический эффект. (Исчерпывающе полными и достоверными доказательствами одного я не располагаю, поэтому и не берусь утверждать это однозначно.)

.... В 1916 г. в Петербурге был убит Григорий Распутин. До этого его множество раз пытались отравить. Самый сильный из известных в то время ядов, цианистый калий, несколько раз подсыпали ему в пищу – подмешивали в кремовые пирожные и портвейн. Все попытки оказались безуспешными – яд Распутина «не брал». Пришлось воспользоваться традиционным средством – пистолетом. На этой почве появились даже легенды, обыгрывающие сверхъестественную живучесть этого действительно неординарного человека.

... в 1918 г. стреляет эсерка Каплан. Пули отравлены смертельным ядом кураре. Ленин должен был мгновенно умереть – он выжил.

Между тем, если бы в те времена наука о ядах была более развита, всех этих казусов с, казалось бы, верными отравлениями удалось бы избежать. Яд кураре, оказывается, мгновенно разлагается при термическом воздействии – на выходе из ствола пуля была уже не ядовита. Цианиды в присутствии сахара инактивируются в достаточно безобидные вещества – ну поболит немножко голова и на том неприятности закончатся. На этом принципе даже основан один из методов техники безопасности при работе с цианидами – во время работы сосать леденец.

Среди широко распространенных цианидов сравнительно немного настоящих ядов (но, как правило, цианидами называют именно их). Те же светостойкие синие краски “берлинская лазурь” и “турнбулева синь”, представляющие собой цианистые комплексы железа, абсолютно безвредны.

При производстве кокса из угля образуется множество побочных продуктов. В том числе и цианистая кислота – сильнейший яд. Слава богу, что одновременно с ней, из того же коксового газа, в процесс его очистки по содовомышьяковому методу синтезируется и тиосульфат натрия. В его присутствии цианистая кислота (как и в присутствии сахара) нейтрализуется в достаточно безобидную натриевую соль тиоциановой кислоты – роданид натрия. В итоге получаем механическую смесь водных растворов двух веществ – тиосульфата и роданида натрия.

Только на Украине пристроить хоть куда-нибудь эти техногенные отходы коксохима (причем из веществ, разделить которые достаточно сложно) озабочены несколько крупных коксохимических комбинатов: ОАО «Запорожжкокс», ОАО «Авдеевский коксохимический завод», Мариупольский государственный коксохимический завод. Продолжать сбрасывать их в реки – времена уже не те.

Поэтому одним из направлений цивилизованной их утилизации этими предприятиями видится использование тиосульфатов и роданидов в качестве ускорителей в составе полифункциональных модификаторов для строительной индустрии (система «Релаксол» – Запорожье, пластификатор ПЛКП – Днепрпетровск, пластификатор ДАР – Авдеевка).

Отнюдь не бедные коксохимии приложили массу усилий и затратили уйму денег на исследование поведения тиосульфатов и роданидов в бетонных композициях. На сегодняшний день ни одна другая добавка (во всяком случае, в Украине) не может похвастаться столь пристальным к себе вниманием со стороны как научного, так и прикладного бетоноведения. Может быть, поэтому в последнее время и прослеживается «ренессанс» сульфатов в технологии бетонов. Если ранее их рекомендовали в основном в качестве ускорителей твердения при тепловлажностной обработке, особенно по «жестким режимам» (экономика должна быть экономной: «влупить» сразу +95 °С, без энергоемкого и длительного предварительного прогрева, – это по-нашему), то сейчас строительное законодательство изыскало возможность более широкого толкования как своей нормативной базы, так и научно-методологической ее основы. Тиосульфат и роданид натрия, пришедшие на смену тривиальному сульфату натрия, по последним научным изысканиям, оказывается, тоже очень хороши. Во всяком случае, объемам их производства и применения в Украине и России может позавидовать любая другая добавка, а это говорит о многом.

Если учитывать, что всегда существует хотя и ничтожно малая, но потенциальная опасность, что не вся цианистоводородная кислота нейтрализуется тиосульфатом в роданид, использование комплекса (тиосульфат натрия + роданид натрия) в составе полифункциональных модификаторов с участием технических лигносульфонатов следует признать весьма продуманным решением. Содержащиеся в технических лигносульфонатах редуцированные древесные сахара способны полностью инактивировать даже следы цианидов. Поэтому, на мой взгляд, утверждения, что полифункциональные комплексы на основе отходов коксохимии ядовиты, не выдерживают никакой критики.

Вся линейка запорожских химвдобавок системы «Релаксол» (23 вида) построена именно на тиосульфатах и роданидах натрия. Они активно потребляются и на внутреннем рынке, и экспортируются во многие страны СНГ, а также в дальнее зарубежье. В чем корни такой бешеной популярности – вопрос весьма дискуссионный. Я думаю, блестяще сработала маркетинговая служба предприятия, сумевшая «раскрутить» под видом полифункциональных составов по сути бросовый отход коксохимического производства. Немаловажно также и серьезное научно-методологическое сопровождение проекта. Хотя в стане тех же ученых-бетоноведов до сих пор нет четкого и единого мнения по поводу сульфидов, сульфатов, тиосульфатов и роданидов в технологии бетонов (осо-

Вид и количество добавки	Степень гидратации цемента (%) в возрасте		Прочность на сжатие (МПа) в возрасте	
	1	7	1	7
Без добавок	24	35	9,8	38,9
С добавкой 2 % тиосульфата натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	52	60	14,7	49,7
С добавкой 2 % роданида натрия NaCNS	44	51	13,3	42,8

Таблица 6.5.2-1 Степень гидратации и прочность портландцементного камня с добавками тиосульфата и роданида натрия

бенно в плане их предельных дозировок), отрицать их достаточно высокую эффективность никто не возьмется.

Согласно исследованиям, проведенным львовскими учеными, тиосульфат и роданид натрия несколько увеличивают степень гидратации цемента. А раз так, то увеличивается и прочность (см. *таблицу 6.5.2-1*). И хотя подобное увеличение, вполне приемлемое в технологии тяжелых бетонов, не способно в полной мере удовлетворить аппетиты пенобетонщиков, которые очень ценят «взрывной» набор прочности именно в первые сутки, если нет под рукой других, более эффективных ускорителей, сгодятся и эти. Тем более что они практически всегда поставляются в составе полифункциональных комплексов, в сбалансированных с пластификаторами комбинациях (линейка добавок украинского «Релаксола», например). А любой полифункционал по своей эффективности оставляет далеко позади любую индивидуальную добавку, будь то индивидуальный ускоритель или индивидуальный пластификатор.

Следует отметить, что исследователи не уточнили, какой именно цемент они применяли, поэтому прочностные показатели из таблицы весьма сложно сравнивать со степенью эффективности других добавок.

Отдельный вопрос, который непосредственно не касается темы ускорения, но очень сильно портит кровь заводским технологам, а соответственно, отражается на степени применимости той или иной добавки – это ее растворимость в воде. И хотя еще в 1819 г. досточтимый Гей-Люссак построил первые диаграммы растворимости различных солей в воде и он же подметил существование отдельных кривых растворимости для безводного сульфата натрия и его десятиводного и семиводного гидратов, до сих пор приводятся весьма противоречивые сведения по их растворимости в воде. Если опустить всю эту «многоводную» кашу и учесть, что сульфат натрия (равно как и тиосульфат натрия, и все остальные), как правило, применяется в строительной практике в составе водных растворов, и процесс их выкристаллизации из водных растворов нас и интересует, то условимся далее,

Название соли	0 °C	+10 °C	+20 °C	+30 °C	+40 °C	+50 °C	+60 °C	Падение растворимости, при падении температуры с +20 °C до 0 °C, разы
Сульфат натрия десятиводный $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	50	90	194	408	–	–	–	3,88
Сульфат натрия семиводный $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	195	300	440	–	–	–	–	
Сульфат натрия безводный Na_2SO_4	–	–	–	–	488	467	453	
Тиосульфат натрия пятиводный $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	344	379	412	459	506	629	674	1,19
Формиат натрия $\text{HCOONa} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	305	377	465	нет данных	нет данных	518	546	1,52
Хлорид натрия NaCl	367	358	360	363	366	370	373	0,9
Хлорид кальция $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	595	650	745	1020	1250			1,25
Нитрит натрия NaNO_2	721	780	845	916	984	1041	нет данных	1,17
Нитрат кальция четырехводный $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1020	1153	1203	1526	1959			1,18
Нитрат кальция трехводный $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$					2375	2815	нет данных	
Поташ (калий углекислый) $\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 1,5\text{H}_2\text{O}$	1055	1080	1105	1137	1169	1212	1268	1,05
Сода (натрий углекислый) $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	70	125	215	388	–	–	0	3,07

Примечание:

- Данные по растворимости некоторых модификаций солей, как правило, не используемых в строительной индустрии, даны для справки;
- Растворимость сульфата натрия имеет аномальный характер. В диапазоне от 0 °C до +32,4 °C она повышается. При дальнейшем повышении температуры начинает снижаться;
- Из водных растворов при охлаждении ниже +32,4 °C выкристаллизовывается десятиводный сульфат натрия. При температуре раствора выше +32,4 °C выпадает безводный сульфат натрия.

Таблица 6.5.2-2 Предельная растворимость некоторых ускорителей (в г/литр) при различных температурах

что мы имеем дело именно с его десятиводной модификацией. Растворимостью этой модификации и будем далее оперировать.

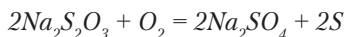
Из такого, казалось бы, малозначимого показателя, как растворимость, происходят огромные сложности технической реализации приготовления, хранения и транспортировки сульфатсодержащих добавок. Если проанализировать *таблицу 6.5.2-2*, то можно заметить, что при понижении температуры растворимость сульфатов очень сильно снижается. Гораздо сильнее, чем остальных добавок.

Мало того, что растворы сульфата натрия приходится готовить и хранить в низкоконцентрированном виде, так еще и при любом снижении температуры (падение температуры с $+20^{\circ}\text{C}$ до нуля снижает его растворимость в 3,88 раза), обвальное падение их растворимости вызывает выкристаллизацию – сульфат натрия попросту оседает на дне емкостей, забивает трубопроводы, ломает насосы и т.д. Если учесть, что мы живем не в благословенной Калифорнии, и морозы у нас, мягко говоря, не редкость, данная особенность поведения сульфатов существенно снижает степень их применимости в качестве строительных добавок массового применения. Особенно это касается кустарных или полукустарных условий, когда нет возможности хранить большие объемы низкоконцентрированных растворов или регулярно следить за температурой высококонцентрированных.

Сходная картина по растворимости прослеживается и по тиосульфату натрия (опять мы рассматриваем его пятиводную модификацию – ту, что из водных растворов выкристаллизовывается). Хотя она гораздо выше, чем у сульфата натрия, при хранении тиосульфат натрия разлагается.

На способности легко окисляться, а также присоединять к себе многие вещества, с которыми он образует комплексные соли, основано множество способов применения тиосульфата натрия в промышленности. В кожевенном деле его используют в качестве восстановителя хромовой кислоты; в текстильной и бумажной промышленности – для освобождения от отбеливателей; в кинофотопромышленности – в качестве фиксажа (закрепителя); в медицине и ветеринарии – для лечения ряда заболеваний и т.д.

Под воздействием кислорода воздуха тиосульфат натрия разлагается по формуле:



Если учесть, что тиосульфат натрия, применяемый в строительстве, получается в процессе очистки отходящих коксохимических газов по содово-мышьяковому методу, а даже ничтожно малые примеси мышьяка или сурьмы выступают сильными катализаторами описанного выше разложения, становится понятным, почему в процессе хранения тиосульфата натрия возникают перманентные проблемы с его выкристаллизацией из водных растворов. Просто выкристаллизовы-

вается уже собственно сульфат натрия, образовавшийся в процессе такого разложения. Ведь его растворимость в зависимости от температуры в 3-5 раз ниже.

Следует также обязательно учитывать, что в смеси тиосульфата и роданида натрия, в силу особенностей технологической реализации их получения, изначально всегда обязательно присутствует немало сульфата натрия в качестве примеси.

Есть достаточно простой способ определения повышенной склонности тиосульфата натрия к разложению кислородом воздуха – по цвету. Если он красноватого цвета, значит, в нем присутствует много соединений мышьяка-катализатора. Соответственно, такой продукт превратится в сульфат натрия быстрее, чем неокрашенный.

При хранении и перевозке сухого тиосульфата натрия следует не только предохранять его от атмосферных воздействий, но и следить, чтобы его температура не превышала $+56^{\circ}\text{C}$ – при этой температуре он полностью расплавляется в собственной кристаллизационной воде.

Еще одна особенность производства пенобетона, связанная с сульфатом натрия, заключается в том, что многие пенообразователи на основе нефтяных кислот непосредственно содержат его в своем составе. Особо это касается модификаций пенообразователей, ориентированных на другие цели, в первую очередь на использование в нефтяной и нефтедобывающей промышленности (буровые версии ПО-6 и ТЭАС). Остаточная серная кислота, которой бывает порой до 20 % в товарном сульфаноле, основном сырье для производства таких пенообразователей, после нейтрализации ее щелочью превращается в сульфат натрия. При похолодании он выпадает из пенообразователя и оседает на дне хранилища. По незнанию многие начинающие пенобетонщики, сталкиваясь с этой проблемой, не могут понять, почему падает качество их продукции. Оказывается, в результате такого расслоения пенообразователя они сначала работают на пенообразователе без ускорителя, а затем на ускорителе без пенообразователя.

6.5.3 Кальций сернокислый (гипс) CaSO_4

То, что гипс нельзя добавлять в цемент, знают все более-менее грамотные строители – бурное ускорение схватывания и твердения цемента на первых порах совсем скоро сменится практически полным его разрушением. Виновником этого безобразия будет гидросульфатоалюминат кальция – эттрингит. Образовываясь в цементном камне, в присутствии повышенных дозировок гипса это вещество сильно увеличивается в объеме и буквально разрывает цементный камень в порошок.

Между тем, как известно, гипс замедляет схватывание цемента (не путать с твердением!). Поэтому при изготовлении цемента гипс в обязательном порядке

добавляют к клинкеру при его помоле. Механизм действия гипса на сроки схватывания цемента заключается в понижении растворимости безводных алюминатов кальция в растворе CaSO_4 и в образовании пленок гидросульфоалюмината кальция на поверхности зерен цемента. Сроки схватывания цемента, а отсюда и требуемая добавка гипса, зависят от его минералогии (точнее, от содержания в цементе трехкальциевого алюмината C_3A) и концентрации извести CaO в начальной стадии гидратации. Так, стоп, Остапа понесло... Перехожу на нормальный язык.

Итак, гидросульфоалюминат кальция – эттрингит (далее я буду называть его по-нашему – «цементной бациллой», а то недолго и язык сломать) вещь, конечно, хорошая и полезная для прочности бетона. Но в разумных пределах, разумеется. Степенью этой разумности управляют еще на цементном комбинате, регулируя количество гипса, вводимого при помоле в зависимости от конкретной сырьевой базы производства клинкера. (Цементные комбинаты иногда эту «степень разумности» трактуют на свой лад, и тогда строители получают так называемый цемент-быстрьяк – от добавления воды он схватывается мгновенно, прямо в бетономешалке.)

Когда мы вмешиваемся в химизм взаимодействия цемента с водой (а это в пенобетонных технологиях сплошь да рядом), следует откорректировать и содержание гипса в цементе. Например, при дополнительном измельчении цемента путем домола или при использовании глубоко гидратированного цемента (домол в водной среде и даже простое скоростное перемешивание, что, в принципе, по конечному эффекту одно и то же) мы увеличиваем количество выхода в реакцию трехкальциевого алюмината C_3A . Он сам по себе является первопричиной формирования начальной прочности цементного камня, затем, конечно, вступает в действие «тяжелая артиллерия» – силикатные составляющие цемента, но их отложим на потом.

Так вот, раз больше вышло трехкальциевого алюмината, значит, без боязни образования «цементной бациллы» можно увеличить и количество гипса.

Очень часто при приготовлении пенобетона мы умышленно увеличиваем количество извести (CaO) в цементной суспензии. Это может быть как известь, введенная случайно – с золой-уносом, молотыми доменными шлаками и т.д., так и вводимая умышленно – в качестве стабилизатора пены, например, при использовании пенообразователей на основе смеси омыленных жирных и смоляных кислот (СДО), а также добавленная для повышения щелочности жидкой фазы при производстве вибровспученных пеногазобетонов. В любом случае, раз уж попала в цементную композицию «внешняя» известь, имеет смысл разумно ею распорядиться – пусть подстрахует от образования «цементной бациллы», когда мы добавим еще и гипс.

В зависимости от минералогического состава цемента, тонины его помола и условий твердения оптимальное содержание добавки дисперсного полуводного

Вид цемента	Расход цемента в кг на 1 м бетона	В/Ц	Жесткость бетонной смеси в сек.	Предел прочности бетона при сжатии в кг/см ² через		
				1 сутки	3 суток	28 суток
Заводского помола с добавкой 3 % гипса, активностью 600 кг/см ²	350	0,4	10–12	79	267	552
	400	0,35	12–15	102	338	602
То же, с дополнительной добавкой 8% гипса и повышенной тонкостью помола (домол в шаровой мельнице)	350	0,4	15–17	217	490	740
	400	0,35	18–20	476	585	877
Заводского помола с добавкой 3 % гипса, активностью 560 кг/см ²	350	0,4	10–12	63	256	622
	400	0,35	12–15	95	340	673
То же с добавкой 6% гипса той же тонкости помола (кратковременное смешение в шаровой мельнице)	350	0,4	10–12	271	431	768
	400	0,35	12–15	334	516	859
Заводского помола, активностью 475 кг/см ²	350	0,4	10–12	108	342	567
	400	0,35	12–15	134	481	687
То же, с дополнительной добавкой 4 % гипса и той же тонкости помола (кратковременное смешение в шаровой мельнице)	350	0,4	10–12	231	394	617
	400	0,35	12–15	298	517	758

Таблица 6.5.3-1 Влияние добавки гипса на прочность бетона

гипса колеблется в пределах 5–8%. В начальные сроки твердения бетона наилучшие результаты получаются при использовании высокопрочного гипса и несколько худшие – при использовании обычного полуводного строительного гипса. Образующиеся при добавке гипса кристаллы гидросульфоалюмината кальция обуславливают быстрое нарастание прочности бетона в начальные сроки твердения.

(Логично предположить, что изобретенное советскими учеными ВНВ вяжущее низкой водопотребности, обусловившее настоящий бум в монолитном домостроении, продукт сухого домолы цемента в присутствии нафталинформальдегидного суперпластификатора С-3 – также в какой-то мере реализует эту идею. Всегда присутствующие в С-3 остаточные сульфаты грамотно «встречают» повышенный выход трехкальциевого алюмината из-за домолы. Вполне возможно, что и иные сульфаты, те же тиосульфат и роданид натрия, водимые в составе интенсификаторов заводского помола, способны на подобного рода эффекты.)

Свойства бетона с повышенным содержанием гипса в цементе изучались проф. Скрамтаевым Б. Г. и канд. тех. наук Будиловым А. А. При этом были исследованы бетоны на портландцементях марок 400, 500 и 600 с содержанием трехкальциевого алюмината более 8% (высокоалюминатный цемент). Цемент смешивали с добавкой гипса в мельнице, что увеличивало тонкость заводского помола. Бетонные смеси имели хорошую жесткость при расходе цемента 350 кг/м^3 (с В/Ц = 0.4) и 400 кг/м^3 (с В/Ц = 0.35). Как видно из *таблицы 6.5.3-1*, дополнительная добавка гипса в суточном возрасте дает увеличение прочности бетона в 2,14–4,66 раза, а в 28-суточном – в 1,1–1,45 раза. Добавка гипса и домол цемента позволили получить быстротвердеющий бетон повышенной марки. В возрасте 28 суток прочность бетона достигла 600, 700 и 800 кг/м^2 .

На основании полученных результатов можно рекомендовать в случае отсутствия быстротвердеющих цементов заводского изготовления на заводах и полигонах сборного железобетона применение домолы цемента и введение повышенного количества гипса – не более 8%. Добавка гипса большего объема приводит к слишком быстрому схватыванию цемента, загустению бетонной смеси и потере ее удобоукладываемости. Поэтому она не может быть рекомендована для тяжелых бетонов, но эту их особенность можно с успехом использовать в производственно-технологических цепочках, где производство бетона и его потребление сконцентрированы в одном месте, а быстрое схватывание вполне уместно: производство пенобетона, малых архитектурных форм, элементов мощения, прессованных и гиперпрессованных цементно-песчаных изделий – кирпича, черепицы и т.д.

Еще более эффективным методом является мокрый домол цементов с добавкой не только гипса, но и ускорителя. Опыты, проведенные в свое время в ЦНИПСе Г. А. Аробелидзе, показали, что для получения быстротвердеющих бетонов без тепловой обработки очень эффективно применение совместной добавки гипса и хлористого кальция. Так, дополнительная добавка 3% гипса при домоле высокоалюминатного ($\text{C}_3\text{A} = 9\%$) цемента увеличила его суточную прочность на 89%. Введение дополнительно еще 2% хлористого кальция повысило суточную прочность на 324% по сравнению с прочностью бетона без всяких добавок. Для низкоалюминатного ($\text{C}_3\text{A} = 4$) цемента цифры не столь впечатляющие, но все равно очень высокие – 77% и 205%.

6.6 Применение молотой извести-кипелки с соляной кислотой в качестве интенсификатора твердения тяжелых и ячеистых бетонов

Если вместо обычного песка использовать крупно размолотый клинкер – сырье, из которого делают цемент, окажется, что прочность получившегося

бетона намного выше – в 3–5 раз. Это явление объясняется тем, что поверхность песка из клинкера активно взаимодействует с твердеющим цементом. Традиционное заблуждение, укоренившееся в умах многих поколений строителей, – негашеную известь нельзя применять в бетонах. Базировалось оно на вполне справедливом утверждении, что «при затворении водой и образованием из безводной окиси гидроокиси кальция происходит изменение объема вновь полученного продукта в 3,5 раза».

Качество цемента действительно сильно зависит от количества в нем свободной окиси кальция – попросту извести-кипелки. Еще в самом начале исследования цементов было установлено, что именно известь-кипелка, содержащаяся в цементе в несвязанном состоянии, является причиной неравномерности изменения объема цемента. Отсюда и сложилось убеждение, что поскольку даже незначительное количество свободной извести, оказавшейся внутри цемента и не связанной в силикаты, и алюминаты кальция во время обжига ухудшают качество цемента, то дополнительная добавка ее в цемент в большом количестве тем более недопустима.

Однако упускается тот факт, что негашеная известь, которая образовалась внутри цемента во время его обжига и не успела войти в состав клинкера, и известь, введенная в готовый цемент, впоследствии ведут себя по-разному. В первом случае известняк обжигается при температуре обжига клинкера (около 1450 °C), и не успевшая войти в его состав часть извести оказывается сильно пережженной. Такая известь характеризуется очень медленным гашением. Как правило, этот процесс длится несколько десятков суток в уже затвердевшем бетоне. Удельный вес извести-кипелки CaO – 3,1, а получившейся в результате взаимодействия с водой гидроокиси $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – 2,1. Этот процесс в толще набирающей (или уже набравшей) прочность цементной матрицы вызывает приращение объема пор, что приводит к неравномерному изменению объема цемента и его растрескиванию.

При обжиге же извести-кипелки температура обжига обычно не превышает 1000 °C. Обожженная при такой сравнительно невысокой температуре известь при введении в цемент гасится в течение нескольких минут. Как правило, тонкомолотая известь способна прогаситься в составе бетона еще до начала его схватывания. В этом случае изменение ее объема вообще не вызывает каких-либо внутренних напряжений.

Вот почему добавка к цементу до 15% тонкомолотой окиси кальция (извести-кипелки) не вызывает вредных последствий. А содержание той же извести в существенно меньших количествах необратимо портит цемент.

Если одновременно с негашеной известью вводить в цемент соляную кислоту или хлористый кальций, то гашение извести будет протекать еще быстрее, что абсолютно исключает возможность ее вредного воздействия на цемент.

Все эти соображения сохраняют силу, если в цементный бетон прибавлена тонкомолотая высококальцевая известь. Крупные частицы, образующиеся при грубом помоле, а тем более комки извести-кипелки, могут вызвать неравномерное изменение объема цемента и даже растрескивание бетона.

Обычный же песок, представляющий собой окись кремния, в нормальных условиях практически не вступает с цементом в какое-либо химическое взаимодействие. И только при температуре 170–200 °С образуются гидросиликаты – основа прочности силикатных бетонов, в том числе и ячеистых газосиликатов. Но такую технологию возможно реализовать только при автоклавировании изделий, что очень дорого, чрезвычайно хлопотно и реализуемо лишь в производственных условиях.

Еще в 1947 году советские ученые, заинтересовавшись темой обеспечения гидросиликатного твердения без ресурсоемкого автоклавирования, начали экспериментировать с заполнителями. Вместо песка попробовали использовать молотый доменный шлак. Эксперименты оказались весьма обнадеживающими. Бетон на «пробужденном» шлаке (так его стали называть) оказался в несколько раз прочнее традиционного – без особых хлопот удалось достичь марочность до М850. А все потому, что доменный шлак обладает активностью по отношению к цементу.

А нельзя ли обычные заполнители, тот же песок, например, сделать активными по отношению к цементу? Вот было бы здорово!

Оказалось, что, обработав кварцевый песок соляной кислотой плотностью 1,19 в течение 30 минут, можно сделать его активным по отношению к извести. Иными словами, реализовать идею гидросиликатного твердения в обычных условиях и без всяких автоклавов.

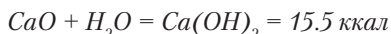
На практике эта технология реализуется следующим образом. В смеситель загружается порция песка. Туда же приливается раствор соляной кислоты плотностью 1,19. Полчаса смесь перемешивается. Затем в тот же смеситель добавляется негашеная известь в количестве 15–20 % от предполагаемой массы цемента. Еще через некоторое время добавляется цемент. После непродолжительного перемешивания смесь готова.

Существенная модернизация этой схемы – замена песка (либо части песка) золой-уносом. Ее тонина очень привлекательна для пенобетонной технологии (смотри смотри *раздел 3.2.2.7*). Но реалии жизни не позволяют в полной мере воспользоваться всеми ее преимуществами. Дело в том, что в свежей золе-уносе много пережженной извести. Если ее сразу ввести в состав, через какое-то время эта известь начнет гаситься в уже готовом изделии и разорвет его в пыль. Поэтому свежую золу использовать нельзя – ее обычно выдерживают в отвалах по нескольку лет при постоянном увлажнении. В результате она превращается в нетранспортабельную массу. В присутствии соляной кислоты даже в свежей золе-уносе известь очень быстро нейтрализуется, переходя в хлористый кальций.

6.6.1 Тепловыделение при гашении извести

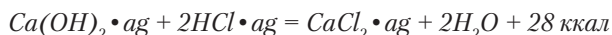
Характерным для совместного введения в бетон негашеной извести и соляной кислоты является выделение тепла при их взаимодействии друг с другом и водой. Количество выделенного тепла можно подсчитать по следующим уравнениям экзотермических реакций:

1. Гашение извести



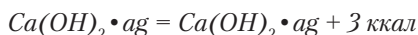
Согласно этому уравнению, 1 кг химически чистой извести при гашении ее водой выделяет 276 ккал тепла.

2. Нейтрализация извести соляной кислотой и образование в результате хлористого кальция:



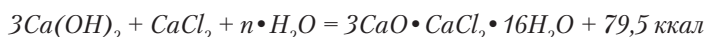
Из этого уравнения следует, что 1 кг извести при нейтрализации ее соляной кислотой выделяет 384 ккал тепла.

3. В присутствии образовавшегося в растворе хлористого кальция растворимость свободной извести увеличивается. Теплота растворения определяется из уравнения:



1 кг растворяющейся извести выделяет 40 ккал тепла.

4. Взаимодействие избытков извести с хлористым кальцием высокой концентрации может привести к образованию хлорокиси кальция:



Каждый килограмм образующейся хлорокиси выделяет 140 ккал тепла.

Неизбежным следствием перечисленных выше экзотермических реакций является выделение тепла внутри бетона и повышение его температуры. Помимо этого минералы портландцементного клинкера также выделяют тепло в процессе химической реакции с водой в результате гидролиза и гидратации. Введенные в состав бетона ускорители «подстегивают» это тепловыделение.

Вследствие химического воздействия ускорителей, вовлекающих в реакцию большую массу цементного вещества, последний выделяет добавочное количество тепла в начальные сроки гидратации и твердения. Исследованиями установлено, что для большинства портландцементов с 30–45% C_3S (трехкальцевого силиката) от веса минералов цемента, при добавке 1% хлористого кальция тепловыделение 1 кг цемента за первые сутки увеличивается на 4–7 ккал, т.е. примерно на 10% больше, чем в обычных условиях.

Наименование вещества и характер реакции	Количество тепла в ккал	Скорость выделения тепла
Гидролиз и гидратация цемента марки М400	30	В течение 3 дней
Гидратация извести	276	В течение нескольких часов
Нейтрализация извести кислотой	376	В первые часы
Растворение извести в водном растворе хлористого кальция	40	В первые часы
Образование хлорокси кальция (при высоких концентрациях CaCl_2)	140	В первые часы
Дрова сухие (для справки)	2000–2500	

Таблица 6.6.1-1 Выделение тепла 1 кг различных веществ

Под воздействием ускорителей быстрее протекает гидратация цемента, и благодаря этому интенсивней выделяется тепло в начальные сроки твердения.

Все перечисленные выше экзотермические реакции в совокупности и определяют явление, которое приводит к сильному саморазогреву бетона. В *таблице 6.6.1-1* дано сопоставление количества и скорости выделения тепла различными веществами в бетоне.

Из таблицы видно, как велико количество тепла, выделяемого при реакции взаимодействия извести-кипелки с соляной кислотой и водой. В суммарном исчислении тепла выделяется всего втрое меньше, чем от аналогичного количества сухих дров. Да известью топить можно!

При гидратации 1 кг извести и последующей нейтрализации ее кислотой в течение первых же часов выделяется в 20 с лишним раз больше тепла, чем выделяет 1 кг портландцемента марки М400 в течение целых 3 суток.

Следует обязательно отметить, что в первые 6–8 часов сам цемент при обычных условиях схватывания и твердения тепла практически не выделяет. А вот при введении ускорителей именно на этот период приходится максимум тепловыделения. Возникает вопрос, на сколько же градусов бетон может нагреться бетон в результате перечисленных выше экзотермических реакций?

Предположим, что оптимальные дозировки извести-кипелки и соляной кислоты находятся в пределах: для кислоты – порядка 1–2%, для извести – 10–15% от массы цемента. Расход цемента примем в 200 и 450 кг, объемный вес тяжелого бетона – 2200 кг/м³, а пенобетона – 800 кг/м³, теплоемкость того и другого, для упрощения, примем одинаковой – 0,25 ккал/кг град. Теплоизоляцию будем считать идеальной (тоже для упрощения).

Результаты расчетов на основе приведенных выше термохимических реакций между химически чистыми добавками, а также водой и цементом, сведены в *таблицу 6.6.1-2*.

Расход цемента в бетоне и величина добавки ускорителя	Тяжелый бетон плотностью 2200 кг/м ³		Пенобетон плотностью 800 кг/м ³	
	Приrost температуры в °С	Конечная температура бетона в °С при начальной температуре 15 °С	Приrost температуры в °С	Конечная температура бетона в °С при начальной температуре 15 °С
Бетон с расходом цемента в 200 кг/м ³ без ускорителей	10,9	25,9	—	—
То же с 1 % HCl + 15 % CaO	26	41	—	—
То же с 2 % HCl + 15 % CaO	36,6	51,6	—	—
Бетон с расходом цемента в 450 кг/м ³ без ускорителей	24,5	39,5	9,0	24
То же с 1 % HCl + 10 % CaO	58	73	21,1	36,1
То же с 2 % HCl + 15 % CaO	80	95	29,1	44,1

Таблица 6.6.1-2 Степень саморазогрева 1 м³ бетона трехсуточного возраста при различном расходе цемента и добавки ускорителя

Приведенные в таблице данные свидетельствуют, что бетон даже без добавок способен к саморазогреву под действием тепла, выделяющегося при гидратации цемента. Если учесть, что за 30 дней цемент выделит тепла в 2 раза больше, чем за 3 дня, то и его температура за это время должна была бы повыситься в два раза. На практике этого не происходит, так как принятое нами допущение об идеальной теплоизоляции практически невозможно.

С введением добавок саморазогрев бетона возрастает более чем в три раза. Известно, что тепло положительно и более эффективно влияет на темпы твердения молодого бетона. Поэтому тепло, выделяемое при действии ускорителей в начальные сроки твердения, ценнее тепла, выделяемого цементом в более поздние сроки.

Конечным продуктом взаимодействия извести-кипелки и соляной кислоты внутри бетона является хлористый кальций. Помол комовой извести до тонины, когда ее смело можно вводить в состав этой композиции, достаточно хлопотен. Еще сложнее обеспечить ее сохранность — она начинает бурно гаситься уже от влажности воздуха. Возникает вопрос, изменится ли саморазогрев бетона, если вводить в него уже готовые гашенную известь и хлористый кальций или гашенную известь и соляную кислоту?

Безусловно, изменится, так как тепло, образующееся в процессе гашения извести кислотой и при образовании хлорокиси не попадает теперь в бетон. (Для заинтересовавшихся этой темой весь процесс взаимодействия извести и кислоты разбит на отдельные этапы (см. выше). При желании можно легко подсчитать тепловыделение, убирая отсутствующие реакции.)

Там, где необходим быстрый и сильный саморазогрев бетона и быстрое его твердение, нужно применять известь-кипелку и соляную кислоту, а не хлористый кальций.

1. Добавка в бетон только одной молотой негашеной извести в дозировке до 5 % повышает суточную и 28-суточную прочность на 15–25 %.
2. Дальнейшее увеличение количества вводимой извести вызывает пропорциональное снижение прочности бетона. Во многом это может быть объяснено тем, что в традиционных помольных агрегатах, шаровых и вибромельницах, невозможно достичь требуемой тонины помола извести – на определенной стадии помола начинаются процессы самоагрегации, и тонина помола стабилизируется. Если известь-кипелка смолота на высокоэнергетических мельницах ударного действия типа дезинтегратора или десмбератора, в которых самоагрегация наступает гораздо позже, дозировку извести в бетоны можно довести до 15–20 % без потери прочности.
3. Добавка в бетон одной соляной кислоты несколько ускоряет его твердение лишь в первое время. Причем с увеличением добавки соляной кислоты до 2,5 % наряду с ускорением набора прочности отмечается ее спад в месячном возрасте.
4. Комбинированная добавка извести и соляной кислоты кардинальным образом меняет весь процесс твердения.
 - а) Добавка 0,83 % кислоты и до 15 % негашеной извести ускоряет твердение бетона в первые же сутки более чем в 3 раза, через трое суток – до 1,5 раз и обеспечивает нарастание прочности бетона в последующие сроки.
 - б) Добавка 1,67 % кислоты и до 15 % негашеной извести ускоряет твердение бетона в первое время еще более значительно: через 6 часов он приобретает прочность, соответствующую 70–100 % суточной прочности обыкновенного бетона, через сутки – до 350 % прочности обыкновенного бетона того же возраста и обеспечивает нарастание этого параметра в месячном возрасте на 15–20 %.
 - в) Добавка 2,5 % кислоты и до 15 % негашеной извести ускоряет твердение бетона, особенно резко выраженное в первое время (прочность с этими добавками уже через 6 часов достигает 150 % суточной прочности обыкновенного бетона), и обеспечивает ее нарастание в месячном возрасте на 10–12 %.

Вид и количество добавок-ускорителей	Водоцементное соотношение (В/Ц)	Время потери пластичности в минутах
Бетон без добавок	0,57	—
Бетон с 3 % CaCl_2	0,57	75
Бетон с 3 % CaCl_2 + 15 % извести-кипелки	0,65	23
Бетон с 2 % CaCl_2 + 15 % извести-кипелки	0,65	18

Таблица 6.6.2-1 Изменение пластичности бетона при введении добавок-ускорителей

Комбинированная добавка негашеной извести и соляной кислоты ускоряет твердение бетона в первые часы в среднем в 2–5 раз (через сутки – в 2 раза) эффективней, чем добавка одной соляной кислоты без негашеной извести. Оптимальной следует считать дозировку извести – 10 % и соляной кислоты до 2 % от массы цемента.

Все приведенные выше рассуждения и дозировки справедливы для химически чистых веществ. На практике же этого никогда не бывает. Строительная известь первого сорта содержит максимум 85 % CaO , а второго – порядка 70 % CaO . Эти соображения следует учитывать при отработке конкретной технологии, исходя из местных условий.

6.6.2 Влияние саморазогрева бетона на схватывание

Из факта саморазогрева бетона вытекает ряд важных следствий. Известно, что с повышением температуры среды схватывание цементов ускоряется. При самонагреве бетона повышается температура не среды, а самого цемента, но результат будет один и тот же: сроки схватывания цемента резко сокращаются.

До какой же температуры способно разогреться цементное тесто с добавками-ускорителями, и как быстро может протекать это разогревание? Степень саморазогрева материала зависит не только от количества выделившегося тепла, но и от скорости его образования, а также от быстроты отвода в окружающую среду.

Быстрота образования тепла определяется скоростью гашения извести и нейтрализации ее кислотой. По скорости гашения извести разделяются на быстрогасящиеся, которые достигают максимальных температур через 5 минут, среднегасящиеся – до 30 минут и медленногасящиеся – более 30 минут. Присутствие соляной кислоты резко повышает скорость гашения любой извести. В этом случае все они, по существу, оказываются быстрогасящимися, причем даже при минимальных добавках ускорителей температура цементного теста в

первые же минуты после затворения его водой, может быть настолько высокой, что схватывание цемента наступит очень быстро. Так, при добавке 3 % CaCl_2 и 15 % CaO схватывание цементного теста нормальной густоты наступает уже через 1–4 минуты, а оканчивается через 12–20 минут. Но в реальных бетонах, где присутствуют заполнители и дозировка воды против потребной для получения теста нормальной густоты гораздо выше, разогрев и достижение температурного максимума будут приемлемыми.

В связи с ускоренным схватыванием, бетон с ускорителями гораздо быстрее, чем бездобавочный, теряет пластичность (см. *таблицу 6.6.2-1*).

Длительное сохранение бетоном пластичности полезно, а порой и просто необходимо для бетононирования массивных сооружений или при необходимости длительной транспортировки бетонной смеси. При изготовлении же мелких бетонных изделий – стеновых камней, элементов мощения, малых архитектурных форм, производство пенобетона и т.д., когда изготовление и укладка бетона сосредоточены в одном месте, длительный период схватывания не нужен. Мало того, он вреден, поскольку задерживает распалубку изделий, требует большого количества форм и производственных площадей, загромождает производственные площади и т.д.

6.6.3 Влияние совместного введения извести и соляной кислоты на твердение цемента

Так как твердение процесс длительный, измеряемый неделями, а выделение тепла вследствие взаимодействия ускорителей, наоборот, измеряется часами, то, казалось бы, это тепло должно влиять только на темпы схватывания бетона, а не на скорость его твердения. На самом деле оно оказывает значительное влияние и на скорость его твердения.

Проведенные в свое время эксперименты показали, что если относительную прочность бетона, выдержанного в первые 6 часов при $+20^\circ\text{C}$, а затем еще сутки при комнатной температуре принять за 100%, то относительные прочности бетонов, выдержанных первые 6 часов при температуре $+40^\circ\text{C}$, $+60^\circ\text{C}$ и $+80^\circ\text{C}$ и затем сутки при комнатной температуре, составляют 232 %, 420 % и 550 % соответственно. Как видим, при воздействии температуры на бетон в самый начальный момент его твердения прочность намного возрастает.

Применение соляной кислоты и смеси извести-кипелки с соляной кислотой позволяет получать быстротвердеющие бетоны. Комплексные эксперименты, проведенные Н.Н.Киселевым в Горьковском инженерно-строительном институте в начале 50-х годов, дали следующие результаты (*таблица 6.6.3-1*).

Таблица – обобщение комплексного эксперимента по испытанию 915 кубов с ребром 5 см. Исследовались бетоны марок «70», «110», «200», «250» и «350»

Возраст бетона в сутках	Без добавок ускорителей	С добавкой 2 % HCl	С добавкой 2 % HCl + 15 % извести-кипелки
1	100	290	950
3	100	225	400
7	100	135	210
14	100	133	175
28	100	130	170
90	100	107	130
270	100	105	125

Таблица 6.6.3-1 Относительное ускорение твердения бетона при добавках к нему соляной кислоты и извести-кипелки

% прочности бетона от проектной марки извести-кипелки	Бетон без добавок	Бетон с 2 % HCl	Бетон с 2 % HCl + 15 %
50	5-8 дней, в среднем 7 дней	3-5 дней, в среднем 4 дня	1.0-2.5 дня, в среднем 1,5 дня
70	10-13 дней, в среднем 12 дней	7-8 дней	2-4 дня, в среднем 3 дня
100	28 дней	12-18 дней, в среднем 14 дней	5-7 дней, в среднем 6 дней

Таблица 6.6.3-2 Сравнительные сроки распалубки бетона (усредненные данные по результатам испытаний четырех различных портландцементов)

на портландцементов активностью 246, 332, 354, 403 кг/см² и на шлакомагнезиальном портландцементе активностью 264 кг/см². Расход цемента колебался в пределах 220–290 кг/м³, величины водоцементных отношений находились в пределах от 0,56 до 0,77, осадка бетонной смеси составляла от 4 до 8 см. Известь использовалась высококальциевая, быстрогасящаяся.

Из таблицы видно, что в суточном возрасте бетон с добавкой соляной кислоты и извести-кипелки приобрел прочность, которая почти в 10 раз, в 3-суточном – в 4 раза, а в 28-суточном – в 1.7 раза больше, нежели у бетона без добавок.

Такие высокие скорости твердения бетона с добавками позволяют намного раньше делать распалубовку бетонных изделий и вводить их в эксплуатацию. Сроки распалубовки за счет ускорения твердения бетона сокращаются следующим образом: (см. таблицу 6.6.3-2).

К анализу таблицы присовокупим следующее:

1. Для соляной кислоты есть очень простой и достаточно точный мнемонический прием для вычисления содержания количества HCl в ее водных

Удельный вес	Градусы Ве	Содержание HCl в %	Содержание HCl в кг на 1 л раствора
1,000	???	0,16	0,0016
1,005	0,7	1,15	0,012
1,010	1,4	2,14	0,022
1,015	2,1	3,12	0,032
1,020	2,7	4,13	0,042
1,025	3,4	5,15	0,053
1,030	4,1	6,15	0,063
1,035	4,7	7,15	0,074
1,040	5,4	8,16	0,085
1,045	6,0	9,16	0,096
1,050	6,7	10,17	0,107
1,055	7,4	11,18	0,118
1,060	8,0	12,19	0,129
1,065	8,7	13,19	0,140
1,070	9,4	14,17	0,152
1,075	10,0	15,16	0,163
1,080	10,8	16,15	0,174
1,085	11,2	17,13	0 186
1,090	11,9	18,11	0,197
1,095	12,4	19,06	0,209
1,100	13,0	20,01	0'220
1,105	13,6	20,97	0'232
1,110	14,2	21,92	0,243
1,115	14,9	22,86	0,255
1,120	15,4	23,82	0,267
1,125	16,0	24,78	0,279
1,130	16,5	25,75	0,291
1,135	17,1	26,70	0,302
1,140	17,7	27,66	0,315
1,145	18,0	28,14	0,321
1,145	18,3	28,61	0,328
1,150	18,8	29,57	0,340
1,152	19,0	29,95	0,345
1,155	19,3	30,55	0,353
1,160	19,8	31,52	0,366
1,163	20,0	32,10	0,373
1,165	20,3	32,49	0,379
1,170	20,9	33,46	0,391
1,171	21,0	33,65	0,394
1,175	21,4	34,42	0,404
1,180	22,0	35,39	0,418
1,185	22,5	36,81	0,430
1,190	23,0	37,23	0,443
1,195	23,5	38,16	0,456
1,200	24,0	39,11	0,469

Таблица 6.6.3-3 Таблица перевода удельного веса и плотности растворов соляной кислоты (градусы Ве) на концентрацию при 15°С

растворах. Его суть – две последние цифры удельного веса после запятой умножаем на 2 и получаем содержание кислоты в процентах (это правило справедливо для $+20^{\circ}\text{C}$).

Например, удельный вес 1,19, следовательно, содержание HCl будет $19 \cdot 2 = 38\%$.

Если удельный вес равен 1,12, HCl будет, соответственно, 24 %.

2. Как правило, товарная соляная кислота 38% – имеет удельный вес 1,19.

6.6.4 Влияние хлоридов на иные показатели бетона

В начале 50-х годов проводились также комплексные исследования по влиянию хлоридных ускорителей, в частности, соляной кислоты в дозировках от 1 % до 2 % совместно с 10–20 % извести-кипелки на бетонах марки «140» и «200». Толщину защитного слоя принимали равной 1, 2,5 и 7 см.

Коррозия арматуры и закладных деталей изучалась на образцах из арматурной стали (Ст. 3) длиной 10 см и диаметром 1 см, заделанных в образцы бетона (кубы) с ребром 15 см. Испытания проводились через 30, 90 и 365 дней твердения бетона при различных режимах его хранения: нормальном (во влажных опилках), водном, воздушном и переменном. В каждый образец бетона закладывались 2–3 стальных стержня, выточенных на токарном станке и обработанных ацетоном для удаления следов жира и загрязнений. Всего было испытано 199 образцов. Характер коррозии арматуры в трещинах изучался на балках 9-месячного возраста.

Опыты показали, что стальные стержни, заложенные в образцы бетона, изготовленного с добавкой соляной кислоты и извести-кипелки, с боковых поверхностей коррозией не затронуты, а на торцах оказались пятна и точки небольших размеров, не увеличивающиеся в течение года. Добавка в бетон одной соляной кислоты в количестве 1, 1,5 и 2 % вызвала несколько большую коррозию стержней, чем одновременная добавка этой кислоты и извести-кипелки.

При этом ни различная толщина защитного слоя плотного бетона, ни различные режимы хранения образцов не оказали влияния на коррозию стержней. В железобетонных балках с раскрытыми трещинами шириной до 0,5 мм совместная добавка соляной кислоты и извести-кипелки не привела к коррозии арматуры вообще.

Если учесть, что нормативное строительное законодательство разрешает вводить в отдельные виды железобетонных изделий хлористые соли, то совместные добавки соляной кислоты и извести-кипелки, создающей большую щелочность среды, следует признать тем более допустимым.

Были проведены также испытания на сцепление арматуры с бетоном без добавок и с добавками-ускорителями. Для этого вытаскивали стержни диа-

метром 16 мм из бетонного куба с ребром 15 см. Было испытано 90 образцов. Опыты проводились на бетонах марки «140» и «250» при 50-, 70- и 100 %-ной прочности от величины марки. Бетон без добавок приобретал такую прочность за 7, 12 и 28 суток, а бетон с добавками 2 % HCl + 15 % извести-кипелки – через 2, 3 и 7 суток.

Опыты показали, что при одинаковой прочности на сжатие бетона с добавками и без добавок, прочность на сцепление с арматурой бетона, содержащего добавку соляной кислоты и извести-кипелки, оказалась на 10–15 % выше. Причем бетон с этими добавками набирал прочность в 4 раза быстрее, чем без добавок.

Деформативные свойства бетона без добавок и с добавками изучались на 45 призмах размером 15х15х45 см, изготовлявшихся из бетона тех же замесов, что и образцы для испытания на сцепление. Призмы испытывались методом ступенчатого нагружения в 5, 10, 15 и 20 кг/см² с выдержкой на каждой ступени по 10 минут. Деформации измерялись рычажными тензометрами, установленными по граням призм. Модули полных и упругих деформаций определялись при половинном напряжении от призмной прочности. Ползучесть бетона без добавки и с добавкой 2 % соляной кислоты и 15 % извести-кипелки определялась на призмах 10х10х40 см при половинном напряжении от призмной прочности. Деформации замерялись индикатором, а прочность определялась испытаниями контрольных кубов с ребром в 15 см и контрольных призм.

Результаты этих опытов показали, что деформативность бетона с 2 % соляной кислоты и 15 % извести-кипелки на 5–10 % выше, чем у равнопрочного бетона без добавок. Такими же оказались и результаты определения модуля упругости бетона. Практически же, однако, это не играет роли, так как бетон без добавок достигает определенной прочности в четыре раза медленнее, чем бетон с добавками.

Что же касается ползучести бетона с добавкой 2 % соляной кислоты и 15 % извести-кипелки, то при напряжении, составляющем половину от призмной прочности, в первое время она была на 30–50 % больше, чем у бетона без добавок. Однако вследствие быстрого роста прочности бетона с добавками ползучесть его быстро уменьшается, так что конечные значения этого параметра становятся примерно одинаковыми.

Прочность железобетонных балок на изгиб из бетона без добавок и с добавками-ускорителями исследовалась на балочках размерами 250х25х15 см, армированных стержнями диаметром 14 мм. Для предупреждения разрушений от скалывания через каждые 7 см ставились хомуты и отгибался средний стержень. Балки изготовлялись из бетона марки «250» при температуре 8–18 °С, причем часть балок с добавкой 2 % соляной кислоты и 15 % извести-кипелки изготавливали и хранили при температуре +2 °С и +4 °С.

Для бетона без добавок испытания проводили через 12 и 30 суток, а с добавками – через 1, 2, 3 и 7 суток. Вели их на балочном прессе с пролетом балок в 2 м

при девятиступенчатой загрузке двумя сосредоточенными силами, с выдержкой по 10 минут на каждой ступени. Испытания продолжали до разрушения.

Результаты показали, что разрушающая нагрузка для балок одинаковой прочности одна и та же, хотя возраст бетона без добавок и с добавками-ускорителями к моменту испытания был различным. Прогибы балок в момент разрушения у бетона с добавками оказались на 10–12 % больше. Характерно, что прочность двух балок суточного возраста, изготовленных из бетона с добавками 2 % соляной кислоты и 15 % извести-кипелки и хранившихся при +2–4 °С, составляла 70 кг/см². Это указывает на возможность скоростного ведения работ из монолитного железобетона в условиях пониженных температур.

Вышеприведенные данные свидетельствуют о том, что применение извести-кипелки вкупе с соляной кислотой придает бетону и железобетону новые свойства, которые приобретают большую ценность при скоростном строительстве из монолитного железобетона, а также при заводском и полигонном производстве железобетонных изделий.

6.7 Готовые хлористые соли как ускорители схватывания и твердения бетонов

При исследовании разных ускорителей схватывания и твердения бетонных композиций было установлено, что соли двухвалентных металлов действеннее одновалентных. А еще более эффективны соли трехвалентных металлов. Также было выявлено, что из всех этих солей наиболее действенны соли соляной кислоты – хлориды, особенно если принять во внимание и очень высокую их растворимость в воде.

Хлористые соли давно и успешно применяются в строительной практике в качестве ускорителей и противоморозных добавок. Они дешевы и доступны, пожаро-взрывобезопасны, не ядовиты. Не оказывают негативного влияния на людей и окружающую среду. Но на сегодняшний день у них есть три серьезных недостатка – дешевизна, коррозионная активность по отношению к железу и высочайшая эффективность.

Первый недостаток, дешевизна, все время предопределяет их судьбу. В пору социалистического строительства, в угоду копеечной экономии, хлориды использовали массово и повсеместно. Оказалось, что их коррозионную активность можно достаточно легко нивелировать добавками нитритов (нитрита натрия или нитрита кальция) или иными ингибиторами типа катапина. Пока смешением ингредиентов в нужных пропорциях занимались узкоспециализированные предприятия, производившие комплексы на основе хлоридов типа ННХК (нитрит-нитрат-хлорид кальция) все было более-менее благополучно.

Но как только практически то же самое пытались делать на местах, в так называемых построечных условиях, например, комплекс ХК+НН (хлорид кальция + нитрит натрия), часто приключалась какая-нибудь неприятность, смакуемая потом ежегодником «Аварийные обрушения в строительстве». Первопричиной всего этого служили не хлориды сами по себе, а в первую очередь нарушение технологического регламента работы с ними. Национальную отечественную черту – разгильдяйство, увековечили на законодательном уровне, вообще запретив применение хлоридов для большинства ответственных конструкций. С учетом отечественной ментальности, абсолютно верное решение – бережного Бог бережет. Между тем, на Западе хлориды давно и достаточно широко применяются. Даже бетоносмесительное оборудование идет сразу с мерными емкостями для хлористого кальция.

Бурный всплеск интереса к ускорителям наблюдается в последнее время. За период развала 90-х многие бетонные заводы по тем или иным причинам утратили свое паросиловое хозяйство – использовать отработанный способ ускорения твердения бетонных изделий при помощи тепловлажностной обработки уже стало просто физически невозможно. Выход единственный – работать по так называемой беспарочной технологии с использованием ускорителей, химических интенсификаторов схватывания и твердения.

И хотя национальное строительное законодательство для многих видов железобетона прямо и непосредственно запрещает использование неингибированных хлористых солей, никто ведь не запрещал их использовать в простых бетонах. О какой, скажите на милость, коррозии может идти речь при производстве изделий, где железной арматуры нет вообще? Те же малые архитектурные формы, элементы мощения, ячеистые и легкие бетоны и т.д. В этом случае опять срабатывает, как это ни парадоксально, один из недостатков хлоридов – их высокая эффективность при низкой цене.

Ведь чего греха таить, многие продавцы технологии и оборудования для производства элементов мощения совершенно не заинтересованы в распространении правдивой информации об отечественных модификаторах для бетонов. Многие из них основной бизнес делают именно на продаже форм для производства тротуарных камней. А все остальное – антураж, призванный обеспечить именно их продажу. Разумеется, эффективные и дешевые ускорители для подобного бизнеса как кость в горле – оборачиваемость форм резко увеличивается, соответственно, объемы их продаж падают.

Очень интересный факт, исключительно полно характеризующий отношение к ускорителям на основе хлоридов на Западе: в середине 70-х годов в Великобритании 90% объема продаж ускорителей составляли 16 торговых марок, и 12 из них были изготовлены на основе хлористых солей. Выпускаемые в начале 70-х в Чехословакии все 7 добавок-ускорителей изготавливались на основе хлоридов.

Товарное название	Производитель или поставщик	Действующий ингридиент-ускоритель
Darex SetAcselelator	W.R. Grace	формиат
Rapid Set	Standard Chemicals Ltd of Canada	формиат
PDA High Early 202	Protex Industries	хлорид 23 %
TCDA тип E	Mulco Inc.	хлорид 8 % + лигносульфонат
Sikacrete	Sika Chemicals	хлорид + лигносульфонат
Pozzolith High Early	Master Builders	смесь хлоридов
Porzite L-75	Sternson Ltd	хлорид + лигносульфонат

Таблица 6.7-1 Перечень коммерческих ускорителей, используемых в США (по состоянию на 1986 г.)

А вот как относятся к ускорителям в такой консервативной и требовательной к качеству строительства, стране, как США (см. *таблицу 6.7-1*).

6.7.1 Хлорид кальция

Хлорид кальция (ХК) применяется в строительной практике уже давно – первые документально подтвержденные свидетельства датируются 1873 г., а патент на его применение был выдан в 1885 г. До 1890 г. во всем мире насчитывалось только 7 публикаций по вопросу применимости (ХК). Но впоследствии количество литературы о нем многократно выросло. Интерес к (ХК) очевиден, учитывая огромное количество опубликованных статей, патентов, обзоров, книг и симпозиумов, на которых обсуждаются как научно-методологические аспекты использования (ХК) в технологии бетонов, так и узкопрактические вопросы, с целевым технологическим уклоном.

В то же время следует отметить, имеются серьезные разногласия по поводу эффекта воздействия (ХК) на многие свойства бетонов. В одних странах использование (ХК) запрещено, в других (СССР, США и Канаде) разрешено с условием обеспечения определенных мер предосторожности при производстве армированных и особенно преднапряженных конструкций.

С химической точки зрения хлорид кальция CaCl_2 – кальциевая соль соляной кислоты. Существуют несколько его кристаллогидратов – безводный, двух-, четырех- и шестиводный. Хлористый кальций очень гигроскопичен, его используют даже в качестве осушителя. Поэтому его дозирование перед применением в строительной индустрии должно обязательно учитывать этот факт. Вычислять сложным химическим путем, сколько же безводный (ХК) хватался воды, и какой, собственно, кристаллогидрат мы имеем, абсолютно излишне.

Плотность	Градусы Бе	Содержание безводного CaCl_2 в кг на 1 л раствора	Содержание безводного CaCl_2 в кг на 1 кг раствора
1,0039	0,7	0,0051	0,0051
1,0079	1,05	0,0102	0,0101
1,0119	1,65	0,0154	0,0152
1,0159	2,1	0,0206	0,0203
1,0200	2,7	0,0259	0,0254
1,0241	3,4	0,0311	0,0304
1,0282	3,9	0,0365	0,0355
1,0323	4,4	0,0419	0,0406
1,0365	4,7	0,0473	0,0456
1,0449	5,4	0,0528	0,0507
1,0467	6,0	0,0582	0,0557
1,0491	6,7	0,0638	0,0608
1,0534	7,1	0,0693	0,0658
1,0577	7,7	0,0750	0,0709
1,0620	8,0	0,0807	0,0760
1,0663	8,7	0,0864	0,0810
1,0706	9,4	0,0922	0,0861
1,0750	10,0	0,0980	0,0912
1,0794	10,6	0,1038	0,0962
1,0838	10,9	0,1098	0,1013
1,0882	11,5	0,1158	0,1064
1,0927	12,5	0,1218	0,1115
1,0972	12,7	0,1278	0,1165
1,1017	13,0	0,1340	0,1216
1,1062	13,6	0,1402	0,1267
1,1107	14,2	0,1463	0,1317
1,1158	14,9	0,1548	0,1388
1,1199	15,4	0,1589	0,1419
1,1246	16,0	0,1652	0,1459
1,1292	16,5	0,1716	0,1520
1,1339	16,9	0,1781	0,1571
1,1386	17,1	0,1846	0,1621
1,1433	18,0	0,1912	0,1672
1,1480	18,5	0,1978	0,1723
1,1527	19,1	0,2044	0,1773

Таблица 6.7.1-1 Таблица перевода удельного веса и плотности растворов хлористого кальция (t +18°C). Окончание на следующей стр.

Плотность	Градусы Бе	Содержание безводного CaCl_2 в кг на 1 л раствора	Содержание безводного CaCl_2 в кг на 1 кг раствора
1,1575	19,5	0,2111	0,1824
1,1622	20,1	0,2179	0,1875
1,1671	20,6	0,2247	0,1925
1,1719	20,9	0,2316	0,1976
1,1768	21,4	0,2385	0,2027
1,1816	22,0	0,2454	0,2077
1,1865	22,5	0 2525	0,2128
1,1914	23,0	0,2546	0,2179
1,1963	23,5	0,2668	0,2230
1,2012	24,0	0,2739	0,2280
1,2062	24,5	0,2812	0,2331
1,2112	25,0	0,2885	0,2382
1,2162	25,5	0,2958	0,2432
1,2212	96,0	0,3032	0,2483
1,2262	26,4	0,3107	0,2534
1,2312	26,9	0,3181	0,2584
1,2363	27,4	0,3258	0,2635
1,2414	27,9	0,3334	0,2686
1,2465	28,4	0,3410	0,2736
1,2516	28,8	0,3488	0,2787
1,2567	29,3	0,3567	0,2838
1,2618	29,7	0,3638	0,2888
1,2669	30,2	0,3723	0,2939
1,2721	30,6	0,3804	0,2990
1,2773	31,3	0,3883	0,3040
1,2825	32,0	0,3964	0,3091
1,2877	32,2	0,4046	0,3142
1,2929	32,6	0,4127	0,3192
1,2981	33,1	0,4210	0,3243
1,3034	33,5	0,4293	0,3294
1,3087	33,9	0,4376	0,3344
1,3140	34,6	0,4461	0,3395
1,3193	35,0	0,4546	0,3446
1,3246	35,4	0,4632	0,3497

Таблица 6.7.1-1 (окончание). Таблица перевода удельного веса и плотности растворов хлористого кальция ($t + 18^\circ\text{C}$)

Концентрация раствора, %.	Плотность раствора при 20 °С, г/см ³	Температурный коэффициент плотности раствора	Содержание безводного ХН в 1 литре раствора (кг)
1	1,005	0,00022	0,010
2	1,013	0,00024	0,020
3	1,020	0,00026	0,031
4	1,027	0,00028	0,041
5	1,034	0,00030	0,052
6	1,041	0,00031	0,062
7	1,049	0,00033	0,073
8	1,056	0,00034	0,084
9	1,064	0,00036	0,096
10	1,071	0,00037	0,107
15	1,109	0,00043	0,166
20	1,148	0,00049	0,230
23	1,172	0,00052	0,270
25	1,189	0,00054	0,297

Таблица 6.7.1-2 Содержание хлорида натрия в растворах и их плотность

Достаточно использовать водные растворы (ХК), а по их плотности легко вычислить, сколько там безводного хлорида кальция (см. *таблицу 6.7.1-1*).

6.7.1.1 Механизм действия хлористого кальция на цемент

Рассматривая механизм действия (ХК) на цемент, следует сначала оговорить его минералогический состав.

Основу всех портландцементов составляют 4 минерала, синтез которых происходит при обжиге клинкера – полупродукта, после помола которого, собственно, и получается цемент:

- трехкальциевый силикат $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_3S);
- двухкальциевый силикат $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_2S);
- трехкальциевый алюминат $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A);
- четырехкальциевый алюмоферит $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (C_4AF)

В нормальном цементе, без добавки какого-либо ускорителя, эти минералы следующим образом участвуют в твердении цементного камня:

- трехкальциевый силикат (C_3S) дает нарастание прочности всегда, во все сроки твердения;
- двухкальциевый силикат (C_2S) – до 28 суток его вклад в прочность незначителен, но затем он «просыпается» и обеспечивает последующий набор прочности в течение многих лет;

- трехкальциевый алюминат (C_3A) оказывает значительный прирост прочности в самом начале твердения и до срока в 28 дней, затем его вклад минимален;
- четырехкальциевый алюмоферит (C_4AF) – его роль в твердении незначительна и в основном сказывается в поздние сроки твердения цемента.

Допустим, мы задались целью ускорить набор прочности цементом. На какие минералы из приведенных выше и как нам следует воздействовать?

Трехкальциевый силикат дает прирост прочности все время, значит нужно просто повысить его активность – пусть делает это проворней.

Двухкальциевый силикат у нас «заторможенный»; нам нужен прирост прочности не через месяц, а быстрее. Если не сразу, то хотя бы через неделю он должен включиться в работу.

Трехкальциевый алюминат и так самый шустрый. Именно ему мы и обязаны суточной и трехсуточной прочностью. А если его еще и подстегнуть? Пусть выложится по полной программе в первые дни твердения, а затем хоть трава не расти, пусть даже сбрасывает прочность – к тому времени трехголовый силикат в самую силу войдет, подстрахует.

Четырехкальциевый алюмоферит... Ну, как говорится, в семье не без урода. Толку от него все равно почти никакого, поэтому оставим его в покое – как хочет, так пусть себя и ведет.

Так вот, все, что описано выше, и продельывает хлористый кальций!

(Здесь и везде я умышленно не привожу, на мой взгляд, блестящую, классификацию ускорителей по Ратингову и Розенбергу. Считаю, что их деление добавок на классы излишне академично для простого смертного, а потому будет просто непонятно практикующим строителям.)

Руководствуясь вышеприведенными соображениями, в середине 30-х годов английский исследователь Рарр провел серию кропотливых исследований и измерил вклад каждого из основных минералов цемента в общую прочность цементного камня под воздействием хлористого кальция (см. таблицу 6.7.1.1-1).

Что нам дает эта таблица, какой с нее прок?

А давайте проанализируем упоминавшийся ранее цемент ПЦ-400 завода «Комсомолец» в свете данных из этой таблицы. (Разумеется расчетные данные будут не совпадать с экспериментальными, но для нас важны не абсолютные значения, а закономерность их изменения.)

Минералогический состав этого цемента следующий:

C_3S – 62,7%

C_2S – 16,4%

C_3A – 3,4%

C_4AF – 16,2%

Содержание CaCl_2 в %	Возраст в днях	Элементарные прочности в кг/см^2 на 1 % содержания			
		C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
0	1	+0,286	+0,015	+0,728	-0,189
1		+0,912	-0,072	+1,057	-0,763
2		+0,973	-0,074	+1,134	-0,609
0	7	+1,456	+0,287	+3,332	-0,014
1		+2,226	+0,014	+2,891	-0,084
2		+2,359	+0,238	+2,317	-0,490
0	28	+2,114	+0,273	+6,223	-0,252
1		+2,884	+0,966	+4,067	-0,882
2		+3,227	+1,120	+2,695	-1,316

Примечание:

1. Знак «+» означает, что на такую величину идет прирост прочности, «-» – прочность уменьшается;
2. Значения в таблице переведены из фунтов на кв. дюйм в привычные нам кг/см^2 , поэтому такая дробность.

Таблица 6.7.1.1-1 Элементарные прочности для различных составляющих цемента

Для подсчета суточной прочности без добавки (ХК) нам следует произвести следующие подсчеты:

$$(62,7 \cdot 0,286) + (16,4 \cdot 0,015) + (3,4 \cdot 0,728) - (16,2 \cdot 0,189) = 17,932 + 0,245 + 2,475 - 3,061 = \mathbf{17,591 \text{ кг/см}^2}$$

семисуточная будет, соответственно:

$$(62,7 \cdot 1,456) + (16,4 \cdot 0,287) + (3,4 \cdot 3,332) - (16,2 \cdot 0,014) = 91,291 + 4,706 + 11,328 - 0,226 = \mathbf{107,099 \text{ кг/см}^2}$$

а 28-ми суточная:

$$(62,7 \cdot 2,114) + (16,4 \cdot 0,273) + (3,4 \cdot 6,223) - (16,2 \cdot 0,252) = 132,547 + 4,477 + 21,158 - 4,082 = \mathbf{154,1 \text{ кг/см}^2}$$

С добавкой 2 % (ХК) расчетная прочность будет:

через сутки – **54 кг/см^2**

через 7 суток – **152 кг/см^2**

через 28 суток – **208 кг/см^2**

Характер изменения этих расчетных цифр, полученных, что называется, на кончике пера, очень хорошо коррелирует и с результатами натурных экспериментов.

А общий вывод из всех вышеприведенных расчетов заключается в том, что по совокупному воздействию (ХК) на цемент, как смесь различных минералов, мало чувствителен к минералогическому составу конкретного цемента.

Основной упор он делает на трехкальциевый алюминат, но его в обычных цементах сравнительно немного. (Высокоалюминатные цементы способны, конечно, существенно подправить эти рассуждения, но они достаточно редки и дефицитны). Но вот влияние (ХК) на трехкальциевый силикат, пусть и не такое большое, является определяющим – практически в любом цементе этого минерала всегда наибольшее количество. Поэтому при переходе на портландцемент другого производителя дозировки (ХК) смело можно оставлять неизменными, как и общую методологию работы с ним.

6.7.1.2 Влияние (ХК) на ускорение схватывания цемента

Помимо ускоренного набора прочности (ХК) является также и очень мощным ускорителем схватывания цемента. В технологии традиционных тяжелых бетонов время схватывания корректируют даже в сторону увеличения, ведь бетон нужно успеть приготовить, довести и уложить. Монолитное домостроение вообще ставит взаимоисключающее условие – ускоренное твердение при замедленном схватывании.

В технологии производства пенобетонов, элементов мощения и малых архитектурных форм нет таких ограничений. Приготовление и укладка бетона (пенобетона) сосредоточены в одном месте, и сокращение периода схватывания только во благо.

В обобщенном виде можно считать, что (ХК) в дозировке 1,0–2,0 % ускоряет схватывание примерно в 2 раза, а в дозировке 2,0–3,0 % – в 2,5 раза.

6.7.1.3 Влияние хлористого кальция на схватывание цемента при пониженных положительных температурах

Отечественные погодно-климатические условия часто вынуждают работать если не совсем на морозе, то при достаточно прохладной погоде. Очень часто влияние окружающей температуры абсолютно не учитывается. И если в традиционных строительных работах это выражается в замедлении темпов, то при производстве пенобетона снижение температуры в цехе на «несущественные» 5 °С может стать первопричиной брака.

Взаимодействие цемента с водой – химический процесс. Скорость протекания любой химической реакции сильно зависит от температуры. С возрастанием температуры она увеличивается, за редким исключением. (Одно такое интересное исключение будет использовано, когда мы будем бороться с высолами на кирпичной кладке.)

Химическое взаимодействие цемента с водой отмечено одной особенностью – процесс идет в две стадии. Сначала, в течение нескольких часов, происходит схватывание. После его окончания начинается твердение. И даже по прошествии 28 суток набор прочности бетоном не прекращается. Он продолжается и даль-

Вид цемента	Периоды	Температура окружающей среды					
		+70 °C	+50 °C	+30 °C	+15 °C	+5 °C	+0 °C
Свежий портландцемент	Начало схватывания, через чч–мин	0–37	1–10	1–45	3–00	4–45	8–00
	Конец схватывания, через чч–мин	0–55	2–00	2–45	6–10	14–40	25–35
	Период схватывания, чч–мин	0–18	0–50	1–00	3–10	9–55	17–30
Свежий пуццолановый портландцемент	Начало схватывания, через чч–мин	0–47	0–43	1–45	2–45	6–50	9–50
	Конец схватывания, через чч–мин	0–57	2–07	4–30	6–35	16–20	25–35
	Конец схватывания, через чч–мин	0–10	1–26	2–45	4–10	9–30	15–45

Таблица 6.7.1.3-1 Время схватывания некоторых цементов марки М-400 при различных температурах

ше, годами, но именно прочность через первые 4 недели твердения условились называть марочной прочностью. В соответствии с этой 28-суточной прочностью и нормируется марочность изготовленного бетона.

Снижение температуры влияет как на твердение, так и на схватывание (что очень важно для производства пенобетона). Наглядно этот процесс иллюстрирует таблица 6.7.1.3-1.

Как видно из таблицы, даже для свежих цементов совсем незначительное снижение температуры заметно удлиняет период схватывания.

Подавляющее большинство строителей качество цемента характеризуют двумя показателями: «хороший» и «плохой». Иногда при этом упоминается его марочность и завод-изготовитель, но это уже редкость.

С таким подходом к цементу браться за пенобетон не следует. Во-первых, уже хотя бы потому, что при хранении цемент теряет примерно 10% активности в месяц. Причем эта потеря сказывается именно на начале и длительности схватывания – они многократно удлиняются. Если это усугубить еще и пониженной температурой в цехе, то брак гарантирован. Ведь какой бы распрекрасный пенообразователь вы ни применяли, все равно у него имеется некий период стойкости пены. По его прошествии цементная матрица или должна успеть схватиться и приобрести самонесущие свойства, или пенобетонный массив осядет под собственным весом – его придется выбросить.

Нельзя исчерпывающе полно охарактеризовать влияние добавки хлористого кальция на начало и длительность схватывания цемента, уж слишком тонкий это параметр. Да и не нужно это – меняющиеся всякий раз входные параметры

бетонной смеси будут непредсказуемо корректировать результаты. Единственное, что можно сказать с полной определенностью, – при всех прочих равных условиях добавка 1 % хлористого кальция от массы цемента по его влиянию на схватывание цемента равносильна повышению температуры на 15–20 °С.

6.7.1.4 Влияние (ХК) на повышение пластичности бетонов

Хлористый кальций способствует повышению пластичности бетонной смеси. В прикидочных расчетах можно считать, что для получения равноподвижных смесей каждый процент введенного (ХК) позволяет уменьшить количество воды затворения примерно на 5 %. Чем более жесткая изначально бетонная смесь, тем сильнее выражен этот эффект.

6.7.1.5 Влияние хлористого кальция на усадку бетонов

В разных источниках мне неоднократно встречались утверждения, что ускорители на основе хлористых солей вызывают сильную усадку бетонов. В случае с пенобетонами эта усадка, мол, способна привести к полной невозможности использования хлоридов – пенобетон очень сильно растрескивается. Подобные суждения иначе как спекулятивными назвать нельзя. И вот почему.

Усадка бетонов зависит от множества причин. С научной точки зрения ее следует разделить на два разных процесса, вызывающих, тем не менее, одинаковое физическое проявление и накладывающиеся друг на друга. Это воздействие на твердеющую цементную матрицу, обусловленное капиллярными силами, – влажностная усадка, и проявление результатов химических реакций между цементом и водой – контракционная усадка.

Я не буду в рамках данной темы давать развернутое объяснение – проблеме усадки и мерам борьбы с ней будет посвящена отдельная рассылка. Замечу только, что усадка зависит от многих факторов:

- от свойств вяжущего, т. е. от вида цемента;
- от количества вяжущего – цементного теста в бетоне: чем больше цемента, тем усадка больше (зависимость примерно прямо пропорциональная);
- от свойства, состава и гранулометрии заполнителей;
- от количества воды в бетоне – с увеличением В/Ц усадка значительно увеличивается;
- от условий созревания бетона. Если принять усадку бетона при его вызревании в условиях 100 %-ной влажности (пропарочная камера) за эталон, то тот же бетон, вызревавший при относительной влажности в 50 % (летний навес с легким сквознячком) даст усадку в 3–4 раза большую (уже не одно поколение начинающих пенобетонщиков испытало это явление на себе);

- от абсолютных геометрических размерностей массива бетона и условий его армирования. Иными словами, чем меньше пенобетонный блок, тем меньшими в нем будут проявления усадочных явлений;
- от величины добавки некоторых ускорителей, вступающих в непосредственное химическое взаимодействие с минералами цементного клинкера, в том числе и хлористого кальция.

Последний пункт рассмотрим подробнее. Исследованиями установлено, что хлористый кальций действительно увеличивает усадочные явления в бетоне – приблизительно в 1,2–1,3 раза по сравнению с аналогичным бездобавочным бетоном. Но мы видели ранее, что повышение относительной влажности среды вызревания бетона может снизить усадку чуть ли не в 4 раза. Как и наоборот. Иными словами, снижать усадку наиболее эффективно, действуя именно в этом направлении – в обеспечении влажностных, а еще лучше – тепло-влажностных условий вызревания бетона. А это не только достаточно хлопотно и затратно, но и порой просто технически невыполнимо.

Как это ни парадоксально, но получается, что любой эффективный ускоритель, пусть он даже сам склонен повышать усадку, в конечном итоге общую усадку снижает. За счет ускоренной гидратации цемента под воздействием ускорителя уже нет необходимости целый месяц создавать бетону тепличные условия.

Кроме того, повышенные дозировки цемента в бетоне зачастую обусловлены исключительно потребностью иметь высокую раннюю прочность – как правило, для ускорения оборачиваемости формоснастки. Двигаясь по другому пути – улучшая кинетику набора прочности ускорителями «взрывного» действия (в первую очередь это соляная кислота и ее соли – хлориды), можно избежать излишнего перерасхода цемента. Это не только само по себе экономически выгодно, но и позволяет минимизировать усадку.

6.7.1.6 Влияние хлористого кальция на кинетику набора прочности в первые часы твердения

Процессы твердения бетона на ранней стадии протекают интенсивней и с большей полнотой, когда его температура повышается, а не наоборот. Это относится как к бетону с ускорителями, так и к бездобавочному. Объясняется это тем, что при более высокой начальной температуре процессы гидролиза минералов, входящих в состав цементного клинкера, протекают интенсивно – начинают образовываться коллоидные массы, но с понижением температуры эти процессы как бы искусственно тормозятся.

Кроме того, известь, выделяющаяся при гидратации цемента, имеет так называемую аномальную растворимость – ее растворимость с уменьшением температуры, наоборот, увеличивается. Поэтому она вновь переходит в раствор из начавших выкристаллизацию новообразований, частично их разрушая. Таким

	Минералы цементного клинкера			
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
Без добавки (контрольные)	0,8	0,19	1,62	0,01
С добавкой 1% $CaCl_2$	0,78	0,26	1,47	0,25

Таблица 6.7.1.6-1 Элементарное тепловыделение основными минералами цементного клинкера (за первые 24 часа в кал на 1 % содержания в 1 г цемента)

образом, нарушается целостная и упорядоченная структура начавшего образовываться цементного камня, и это приводит к некоторому снижению его прочности на общем фоне твердения.

При постепенном повышении температуры наблюдается обратная картина: процессы твердения протекают плавно, постепенно развиваясь, благодаря чему создается более равномерная, упорядоченная и плотная структура цементного камня. Этому способствует и то, что известь, сначала перешедшая в раствор в большом количестве, затем, с повышением температуры, начинает из него выкристаллизовываться и образовывать либо коллоиды и гели, либо кристаллические сростки. Эти процессы способствуют уплотнению гелей и тем самым увеличению прочности цементного камня.

Исследованиями было установлено количество тепла, дополнительно выделяющегося в присутствии хлористого кальция при гидратации 4 основных минералов цементного клинкера (см. *таблицу 6.7.1.6-1*).

Анализ таблицы показывает, что добавка хлористого кальция несколько повышает количество тепла за первые 24 часа, выделяемые двухкальциевым силикатом (C_2S) и четырехкальциевым алюмоферитом (C_4AF), и уменьшает количество тепла, выделяемого трехкальциевым алюминатом (C_3A). На тепловыделение трехкальциевого силиката (C_3S) добавка хлористого кальция почти не оказывает влияния.

Возьмем уже упоминавшийся ранее цемент ПЦ-400 завода «Комсомолец» и на основании данных из этой таблицы произведем подсчеты выделяющегося тепла.

Минералогический состав этого цемента следующий:

C_3S – 62,7 %

C_2S – 16,4 %

C_3A – 3,4 %

C_4AF – 16,2 %

Для бездобавочного цемента, выделение тепла составит:

$$(62,7 \cdot 0,8) + (16,4 \cdot 0,19) + (3,4 \cdot 1,62) + (16,2 \cdot 0,01) = 50,16 + 3,12 + 5,51 + 0,16 = 58,94 \text{ кал}$$

Добавка 1 % (ХК) позволяет с каждого грамма цемента дополнительно получить 3,27 кал тепла

$$(62,7 \cdot 0,78) + (16,4 \cdot 0,26) + (3,4 \cdot 1,47) + (16,2 \cdot 0,25) = 48,91 + 4,26 + 4,99 + 4,05 = 62,21 \text{ кал}$$

Если принять расход цемента в 480 кг/м³ (типовой для пенобетона), то прирост тепла от добавки в его состав всего 1 % хлористого кальция составит 1569 ккал. Много это или мало? Если перевести цифры в общепонятный формат, то этого количества тепла, в его бензиновом эквиваленте, хватит среднему легковому автомобилю, чтобы проехать более 20 км.

Таким образом, хлористый кальций может быть применен как в работах при нормальных температурах (от +10°С до +25°С) для ускорения процессов схватывания и твердения, так и в работах при пониженных температурах (ниже +10°С). И хотя в обоих случаях он дает значительную интенсификацию процессов схватывания и твердения, в последнем случае (при пониженных положительных температурах) его сравнительная эффективность значительно выше.

6.7.1.7 Влияние хлористого кальция на твердение бетона в период 1–28 суток и на конечную марочную прочность

При необходимой влажности твердение бетона, как правило, происходит тем интенсивней, чем выше его температура. С понижением температуры и особенно с приближением ее к 0°С твердение бетона резко замедляется, что особенно сильно сказывается на самой ранней стадии. Объясняется это сильным снижением активности воды в химической реакции взаимодействия с цементом. При температуре окружающей среды 0°С вследствие продолжающейся реакции гидратации цемента, сопровождаемой тепловыделением, в бетоне некоторое время поддерживается положительная температура и продолжается набор прочности (хоть и незначительно). По мере ее затухания уменьшается и количество выделяющегося тепла, что еще больше снижает темп набора прочности.

Переходу критической точки через 0°С препятствует скрытая теплота льдообразования. Замерзание в бетоне воды, связанное с переходом ее из жидкого состояния в твердое, происходит не сразу с наступлением нулевой температуры, а значительно ниже. Часть воды при отрицательной температуре вообще остается в жидкой фазе, поэтому твердение бетона продолжается, хотя и очень замедленно. При этом активные цементы, содержащие повышенный процент высокоосновных минералов клинкера, обеспечивают более быстрое накопление прочности бетона. Цементы с тонкомолотыми добавками и малоактивные клинкерные при температурах, близких к 0°С, более резко замедляют твердение растворов и бетонов.

Данный вопрос имеет большое практическое значение при производстве строительных работ в холодное время года – с поздней осени до ранней весны.

Бетон	Срок твердения, суток	Средняя температура бетона, °С						
		–3°	0°	+5°	+10°	+20°	+30°	+40°
Марки 200 на портландцементе М–300	1	–	4	6	10	18	27	36
	2	–	8	12	18	30	43	55
	3	5	12	20	25	40	52	65
	5	8	20	30	40	55	65	78
	7	10	30	40	50	65	74	85
	14	12	40	55	65	80	90	100
	28	15	55	68	80	100	–	–
Марок 200 –300 на портландцементе М–400	1	3	5	9	12	23	35	45
	2	6	12	19	25	40	55	65
	3	8	18	27	37	50	65	77
	5	12	28	38	50	65	80	90
	7	15	35	48	58	75	90	100
	14	20	50	62	72	90	100	–
	28	25	65	77	85	100	–	–
Марки 400 на портландцементе М–500	1	–	8	12	18	28	40	55
	2	–	16	22	32	50	63	75
	3	10	22	32	45	60	74	85
	5	16	32	45	58	74	85	96
	7	19	40	55	66	82	92	100
	14	25	57	70	80	92	100	–
	28	30	70	80	90	100	–	–
Марки 500 на портландцементе М–600	1	–	9	13	21	32	45	59
	2	–	17	25	36	52	65	75
	3	–	23	35	46	62	75	85
	5	–	34	47	58	75	83	90
	7	20	42	57	68	85	90	100
	14	30	58	73	82	95	100	–
	28	35	75	83	92	100	–	–
Марки 200 на шлакопортландцементе М–300	1	–	–	3	6	12	20	35
	2	–	4	7	12	20	35	50
	3	2	7	12	18	30	46	63
	5	4	13	20	30	45	60	80
	7	6	18	25	40	55	70	92
	14	8	25	40	55	75	90	–
	28	10	35	55	70	100	–	–
Марок 200– 300 на шлакопортландцементе М–400	1	–	3	6	10	16	30	40
	2	3	8	12	18	30	40	60
	3	5	13	18	25	40	55	70
	5	8	20	27	35	55	65	85
	7	10	25	34	43	65	70	100
	14	12	35	50	60	80	96	–
	28	15	45	65	80	100	–	–

Таблица 6.7.1.7-1 Относительная прочность бетона на сжатие при различных температурах твердения, % от 28-суточной (твердение при +20°С и влажности 90–100 %)

Методы их проведения должны выбираться с учетом резкого замедления твердения растворов и бетонов с приближением температуры к 0°C . Значительную роль в таких случаях играют добавки – ускорители схватывания и твердения. Для упрощения способов производства работ и обеспечения надлежащего качества бетона в названных выше условиях следует применять более активные и высокоэкзотермичные цементы.

При применении портландцементов, содержащих более 6 % трехкальциевого алюмината, скорость нарастания прочности по сравнению с приведенными выше данными (см. *таблицу 6.7.1.7-1*) увеличивается примерно на 10 %. Разница в скорости набора прочности бетона на двух цементах одинаковой марки, но с различным содержанием C_3A , приведена в *таблице 6.7.1.7-2*.

Добавка хлористого кальция существенно меняет характер твердения бетона. Испытания средней интенсивности нарастания прочности бетона на портландцементе с добавкой хлористого кальция отражены в *таблице 6.7.1.7-3*.

Эффективность хлористого кальция в зависимости от окружающей температуры отражает *таблица 6.7.1.7-4*.

В приведенных таблицах (6.7.1.7-1 – 6.7.1.7-4) данные представляют собой средние значения, выведенные из большого числа опытов, проведенных в лаборатории ускорения твердения бетона НИИЖБ в 1970–1974 гг. и уточняют величины набора относительной прочности до 28-суточного возраста по сравнению с ранее публиковавшимися данными, которые были основаны на экспериментах 1939–1941 гг., когда марки цементов отличались от современных. Кинетика роста прочности устанавливалась на бетонах, изготовленных из смесей подвижностью 6–8 см осадки конуса.

6.7.1.8 Влияние хлористого кальция на твердение бетона при ТВО

Как и для всех остальных добавок, для (ХК) характерен сброс прочности бетонов после ТВО при дозировках, превышающих определенную величину (см. *таблицу 6.7.1.8-1*).

Анализ и сопоставление аналогичной таблицы (6.5.1-1) по сульфату натрия свидетельствует, что для случая изготовления пенобетона, когда расход цемента и В/Ц велики, (ХК) намного предпочтительней – сброс прочности наблюдается при дозировках более чем вдвое превышающих необходимые для (СН).

Для (ХК) это предельные разумные дозировки, с лихвой перекрывающие все потребности пенобетонщиков по кинетике схватывания – осадки не будет.

6.7.1.9 Достоинства и недостатки хлористого кальция

Если в сопоставимом формате попытаться проанализировать достоинства и недостатки (ХК), картина может выглядеть следующим образом.

Возраст бетона, сут	Средняя температура бетона в конструкции, °С													
	-3°		0°		+5°		+10°		+20°		+30°		+40°	
	Б	В	Б	В	Б	В	Б	В	Б	В	Б	В	Б	В
1/2	–	–	2	2	4	4	6	6	10	14	15	25	25	30
1	2	4	5	6	9	12	12	14	22	28	41	48	53	55
2	5	6	10	14	18	24	26	30	40	48	53	63	70	70
3	8	10	18	22	25	32	35	40	50	60	69	75	85	90
5	14	17	28	35	38	46	50	55	65	70	81	85	98	98
7	18	20	37	43	48	53	56	60	75	80	91	95	100	102
14	20	25	51	59	67	72	72	80	87	92	104	105	–	–
28	25	30	70	75	84	85	93	93	100	100	–	–	–	–

Примечание:

Б – портландцемент Белгородского завода ($C_3A < 6\%$), В – то же, Воскресенского завода ($C_3A > 6\%$)

Таблица 6.7.1.7-2 Нарастание прочности бетона марок 200-300 на портландцементе марки 400 Белгородского и Воскресенского заводов

Возраст бетона, суток	Относительная прочность бетона с добавкой хлористого кальция, % от R28 без добавок, на цементах марки М-400							
	на портландцементе				на шлакопортланд- и пуццолановом портландцементе			
	без добавок	с добавкой хлористого кальция, %			без добавок	с добавкой хлористого кальция, %		
		1	2	3		1	2	3
1	15	20	23	27	8	15	17	20
2	27	40	45	50	18	24	30	37
3	40	50	55	60	25	30	40	45
5	55	65	70	80	40	50	55	60
7	70	77	85	90	50	55	60	70
14	85	95	100	105	70	80	90	95
28	100	ПО	115	–	100	110	120	–

Таблица 6.7.1.7-3 Влияние добавки $CaCl_2$ на прочность бетона

Возраст бетона, суток	Процент увеличения прочности бетона при температуре, °С		
	+5°	+15°	+25°
2	85	65	45
3	70	50	35
7	50	30	20
28	30	15	10

Таблица 6.7.1.7-4 Увеличение прочности бетона в % при различных температурах твердения и добавке 2% $CaCl_2$

Вид и расход цемента в бетоне	В/Ц	Добавка (ХК), в % от массы цемента					Предельно допустимая до- бавка (ХК) для данного расхода цемента
		0	1	2	3	3.5	
Бетон на белгородском (низкоалюминатном) цементе, с расходом 250 кг/м³	0.4	67	77	82	84	83	2.5
	0.46	60	70	74	74	73	2.3
	0.52	57	64	67	66	65	2.1
	0.58	50	59	60	56	53	1.6
	0.64	45	52	52	48	47	1.3
Бетон на белгородском (низкоалюминатном) цементе, с расходом 350 кг/м³	0.4	60	70	76	76	75	2.5
	0.46	54	63	68	68	67	2.3
	0.52	50	58	61	59	57	2.0
	0.58	45	53	54	52	48	1.7
	0.64	40	46	45	44	43	1.2
Бетон на белгородском (низкоалюминатном) цементе, с расходом 450 кг/м³	0.4	57	68	73	74	73	2.5
	0.46	51	61	65	65	64	2.4
	0.52	47	57	58	57	56	2.2
	0.58	44	50	51	47	46	1.8
	0.64	39	45	45	40	37	1.7

Примечание:

Таблица 6.7.1.8-1 составлена по результатам графических данных с погрешностью ± 1 .

Длительность ТВО (пропаривания) – 9 часов. Режим пропаривания в первоисточнике не указан.

Таблица 6.7.1.8-1 Влияние добавки (ХК) на прочность пропаренного бетона в зависимости от расхода цемента и принятом В/Ц в % от R28 сразу после ТВО

Достоинства:

1. Является отходом основных химических производств, а потому дешев и легкодоступен.
2. Из условий получения, практически не содержит вредных примесей, способных оказывать негативное влияние на человека.
3. Побочные примеси (чаще всего, других хлоридов) не ухудшают его эффективности как ускорителя.
4. Хорошо растворяется даже в холодной воде, с выделением тепла.
5. Возможно его хранение в форме высококонцентрированных растворов без опасности выкристаллизации при похолодании.
7. Легко поддается модифицированию «внешними» ингибиторами, которые тоже являются ускорителями.
8. Совместим практически со всеми другими химическими добавками в составе полифункциональных комплексов.
9. Способен самопроизвольно модифицировать технические лигносульфонаты, будучи в составе полифункциональных комплексов.

10. Способен незначительно пластифицировать бетонные смеси, особенно жесткие.
11. Как самостоятельно, так и совместно с другими хлоридами в повышенных дозировках выступает в качестве высокоэффективной противоморозной добавки.
12. Полностью вступает в химическую реакцию с минералами цементного клинкера, поэтому не склонен к образованию высолов и выцветов.
13. Позволяет «реанимировать» лежалые цементы. В этом случае особенно эффективен для лежалых высокомарочных цементов (в них, как правило, содержание трехкальциевого алюмината повышено).
14. Положительно влияет на ускорение схватывания и твердения бетонов с большим содержанием золы-уноса.
15. Ускоряет и облегчает прогрев бетона при ТВО из-за повышенного выделения тепла в процессе ускоренной гидратации цемента.
16. Позволяет применять повышенные дозировки, по сравнению с другими добавками, при ТВО, без сброса прочности.
17. Резко ускоряет как кинетику набора прочности при нормальном хранении, так и 28-суточную прочность.

Недостатки:

1. Вызывает коррозию стальной арматуры и оборудования.
2. В повышенных дозировках, свыше 3% от массы цемента, усиливает усадку бетона.

6.7.2 Ускорение твердения бетона добавками хлорокиси кальция (кэла)

Кэл, примененный впервые в США, представляет собой известь-пушонку, обработанную раствором хлористого кальция.

Химический состав кэла (хлорокись кальция) выражается формулой



Изготавливается кэл простым смешиванием извести-пушонки (100 весовых частей) с раствором (55 вес. частей безводного хлористого кальция и 50 вес. частей воды). Полученную смесь необходимо при приготовлении тщательно растирать, чтобы не образовывались крупные комки. Реакция проходит со значительным выделением тепла. В результате получается мелкозернистый продукт, который перед употреблением желательно еще размолоть, чтобы крупные куски кэла не попали в бетон. При растворении в воде кэл снова распадается на гидрат окиси кальция (известь) и хлористый кальций, отдавая обратно всю связанную воду.

Таким образом, действие кэла как ускорителя твердения цемента основывается на реакции между освобождающимся хлористым кальцием и цементом. По своему воздействию на цемент кэл аналогичен эквивалентному количеству хлористого кальция. Добавка 10 % кэла от массы цемента соответствует примерно 1,0–1,3 % добавки безводного хлористого кальция.

Кэл интересен главным образом тем, что допускает предварительное смешивание хлористого кальция с портландцементом. Кристаллический хлористый кальций, благодаря своей гигроскопичности, совершенно не допускает предварительного смешивания с цементом. Мало того, он сам по себе требует хранения в закрытой таре, а иначе, притягивая атмосферную влагу, очень быстро переходит в раствор. (У нас был случай, когда при погрузке лопнул Биг-Бэг с хлористым кальцием. Пока доехали домой, предварительно сухой, как порошок, хлористый кальций превратился в кисель.) Смесь же из кэла с цементом может быть сделана непосредственно перед употреблением, и цемент при этом не потеряет своих качеств.

Продолжительное время хранить такую смесь нельзя, так как влага и углекислый газ из воздуха могут послужить причиной распада кэла на составные части с выделением связанной воды. Она, в свою очередь, будет способствовать дальнейшему разрушению части кэла. Естественно, что и цемент при этом будет испорчен. Проведенные опыты, целью которых было выяснение возможной длительности хранения смеси кэла с цементом, показали, что в открытых емкостях такую смесь можно хранить не более 1–2 недель.

Известь, получающаяся при распадении кэла, представляет интерес как пластификатор бетонов и особенно строительных растворов: увеличение пластичности и удобоукладываемости бетона обеспечивается без увеличения расхода цемента.

6.7.2.1 Кэл – ускоритель для производства пенобетона по методу сухой минерализации

Особое место кэл может занять в технологии производства пенобетона по методу сухой минерализации, предложенной А.П. Меркиным. Суть этого метода заключается в том, что предварительно приготовленная низкократная пена («мокрая пена» с $\beta < 15$) смешивается не с цементно-песчаным раствором, а с сухой цементно-песчаной смесью. По данной технологии ввести в систему ускоритель весьма сложно. Если добавлять его в пенообразователь, страдают параметры получаемой пены. На стадии подготовки сухих компонентов тоже не получается – дозировки ускорителей слишком малы, чтобы равномерно распределить их в составе смеси.

Добавка к сухой цементно-песчаной смеси кэла позволяет обойти все препоны и даже получить новый качественный эффект. Так как кэл не такой

гигроскопичный, как хлористый кальций, и его дозировки из-за добавки извести и воды, перешедшей в кристаллогидраты, примерно в 4 раза большие, становится возможным его равномерное и простое введение. Кроме того, известь в составе кэла, контактируя с низкократной пеной, стабилизирует ее и бронирует.

Недавно беседовал с одним директором стройкомбината из Павлограда. Добродушный и толковый дядька – и себе на уме. Начал он издалека: предприятие, дескать, старое, многопрофильное («...нахваталось, як сучка блох, а тэпэр нэ знаём, шо оцэ з ным робыць...»). Между тем, одно из направлений их деятельности, производство пенобетона, очень грамотно, умно и выверенно организовано – в этом я убедился в процессе беседы. А интересовали его как раз ускорители. Анализируя ситуацию с пенобетонным бумом в Беларуси, а затем в России, он вполне обоснованно ожидает подобного и на Украине (абсолютно верный прогноз: через 2 года после принятия соответствующего теплотехнического закона, начнется обвальнй спрос на ячеистые бетоны). Для интенсификации производства ускорители ему, собственно, и понадобились.

Так вот, в ходе беседы выяснилось, что они много лет, сами того не подозревая, работают по методу сухой минерализации! Копеечный пенообразователь СДО при грамотно построенном техпроцессе позволяет им выпускать отличную продукцию, но вот «впихнуть» туда еще и ускоритель никак у них не получалось. Кэл как раз и может стать тем ускорителем, который сильно облегчит им жизнь.

6.7.3 Другие хлористые соли – примеси

По данным муниципальных властей, за зимний сезон 2003 г. для борьбы с гололедом только Москва употребила:

- 240 000 тонн хлористого кальция, модифицированного хлористым магнием (ХКМ);
- 57 000 тонн хлористого магния, модифицированного («Биа-Маг»);
- 74 400 тонн хлористого кальция фосфатированного (ХКФ);
- 57 300 тонн ацетата аммония («Антиснег»);
- 43 000 тонн «аэродромного» состава «Нордикс»
- 20 000 тонн препарата НКММ (гранулированный реагент, состоящий из нитратов кальция, магния, карбамида и поверхностно-активных веществ).

Почти полмиллиона тонн различных противообледенительных реагентов!

Такое разнообразие примененных средств было обусловлено экспериментированием городских властей. Они пытались сразу стаю зайцев убить – и наледи убирать, и экологию не портить, и деревья удобрять, да еще чтобы и задешево вышло, а машины не ржавели и обувь не портилась. То, что понравилось деревьям и муниципалитету, простые москвичи восприняли плохо, даже скандально плохо – ХКФ, «Антиснег», НКММ и «Нордикс» в итоге были признаны опасными. Впредь решено ставку делать исключительно на простейшие смеси хлоридов – кальция, натрия и магния. Как и во всем остальном мире, кстати.

Нужно быть предельно наивным человеком, чтобы не предположить, что из почти полу-миллиона тонн технических хлоридов, употребляемых только коммунальщиками Москвы, не перепадет немножко и строительной индустрии. Но, восхищаясь ускорительными качествами хлористого кальция, мы все время предполагали, что это чистый продукт, без примесей других хлоридов.

А если рассматривать проблему в реалиях сегодняшнего дня? Как повлияют на характеристики хлористого кальция примеси других хлоридов? Так ли уж эти примеси безобидны для бетона?

Самый популярный и эффективный ускоритель – хлористый кальций – всегда загрязнен побочными продуктами. Обычно это хлориды других металлов. Так, например, крупнейшим производителем хлористого кальция для России (и для Украины, кстати, тоже) является Кирово-Чепецкий химкомбинат. (Стерлитамак пока не берем во внимание – они только запустились, и хлористый кальций выпускают пока только в жидком виде.) Беру сертификат качества на «кальций хлористый технический, кальцинированный, 1 сорт», читаю: массовая доля хлористого кальция – 90 %, массовая доля нерастворимого в воде остатка – 0,5 %. А что остальное в нем, целых 9,5 %, если учесть, что ОНО должно быть растворимым? Наверняка это другие хлориды, в первую очередь хлорид натрия и сода. Хлорид натрия (соль поваренную) и соду мы рассмотрели ранее и пришли к заключению, что они в разной степени, но положительно влияют как на кинетику набора прочности, так и на конечную, марочную прочность.

Но оказывается не все остальные хлористые соли оказывают на бетон столь благоприятное воздействие. Особенно касаясь его конечной, 28-суточной прочности.

Например, хлористый бериллий ($BeCl_2$) оказывает резко негативное воздействие как на схватывание и твердение цемента, так и на его конечную прочность. В дозировке всего 0,27 % от массы цемента он способен отсрочить начало схватывания цемента навсегда – даже через 180 суток нормального твердения бетон с такой добавкой не выказывает хоть какой-то прочности, которую можно было бы измерить инструментальными методами. Это вещество с успехом используют в качестве «диверсионного» – на стройках конкурентов. Поэтому если у вас несколько суток не схватывается бетон, вспомните, кому вы в последний раз перешли дорогу.

Хлористые барий, железо и особенно алюминий – несомненно, очень мощные ускорители как твердения, так и схватывания. В дозировках около 2 % (традиционно «рабочих» для хлористого кальция) они уже настолько ускоряют схватывание, что счет идет на минуты или даже секунды. Весьма важное качество для торкет-набрызга и устранения аварийных протечек. Но эти продукты достаточно дороги сами по себе. Надеяться, что их оставят в составе примесей к хлористому кальцию, не приходится. А на то, что все-таки и перепадет, надежды мало – уж очень их там мало остается.

Вид добавки	Дозировка, в % от массы цемента	Начало схватывания, чч-мин	Конец схватывания, чч-мин
Без добавки (контроль)	0	4–30	8–00
Хлористый алюминий	0,75	3–03	5 – 53
	1,25	2–31	5 – 16
	1,75	1–20	4 – 30
	2,5	0– 01	0 – 25
	5,0	сразу	–
Хлористое железо	0,75	4–52	8 – 05
	1,25	0–40	6 – 30
	1,75	0–47	5 – 17
	2,5	0–02	4 – 50
	5,0	сразу	–
Хлористый барий	0,75	4–55	7 – 50
	1,25	4–55	6 – 05
	1,75	3–48	5 – 08
	2,5	3–39	5 – 04
	5,0	1–53	2–48
Хлористый кальций (для сравнения)	0,75	4–26	6 – 46
	1,25	2–47	4 – 22
	1,75	1–30	3 – 40
	2,5	0–16	1 – 16
	5,0	0–02	0–03

Таблица 6.7.3-1. Влияние некоторых хлористых солей на схватывание цемента (обобщенно-ориентировочные данные)

Самый «подлый» из всех хлоридов – хлористый магний. Его влияние часто недооценивают. И зря. Являясь в первые сутки твердения достаточно эффективным ускорителем и схватывания, и твердения, в 28-суточном возрасте он вызывает сброс прочности на 30–40 %. Особенно любит хлористый магний пакостить шлакопортландцементу (см. *таблицу 6.7.3-2*).

Поэтому, приобретая хлористый кальций на стороне, при малейшей возможности берите очищенный, тот, который используется в сыроварении. Технические сорта хлористого кальция, особенно применяемые в качестве антиобледенительных реагентов, использовать можно только после их пробной проверки.

6.7.4 Обсуждение темы ускорителей-хлоридов в Интрнете

Николай Александрович

Уважаемый Сергей! В Вашей последней рассылке, посвященной ускорителям на основе хлористых солей, говорилось об отрицательном их влиянии

Вид цемента	Дозировка хлористого магния в % от массы цемента	Ускорение начала схватывания, в % от бездобавочного	Прочность, в % от бездобавочного, через	
			3 суток	28 суток
	0 (контроль)	0	100	100
Портландцемент	1,0	45	111	71
	1,5	48	143	80
	2,0	55	148	77
	3,0	нет данных	нет данных	нет данных
	4,0	нет данных	нет данных	нет данных
Пуццолановый портландцемент	1,0	25	174	95
	1,5	40	нет данных	нет данных
	2,0	52	170	86
	3,0	55	нет данных	нет данных
	4,0	56	180	61
Шлакопортланд-цемент				
	1,0	42	91	75
	1,5	47	нет данных	нет данных
	2,0	50	50	83
	3,0	54	нет данных	нет данных
	4,0	55	58	61

Таблица 6.7.3-2. Влияние хлористого магния на схватывание и прочность цементно-песчаных растворов (отношение цемент/песок 1:3, В/Ц=0.5)

на арматуру в плане коррозии. Соответственно, они так же будут влиять и на стальную оснастку, поскольку она, на мой взгляд, находится в более жестких условиях, если учитывать влияние температуры при пропаривании. В связи с этим возникает вопрос: почему при изготовлении форм не используют для защиты от коррозии антикоррозийные покрытия, ведь с их помощью удалось бы существенно увеличить ресурс эксплуатации оснастки? Сейчас существует большое количество антикоррозионных износостойких покрытий и методов их нанесения, включающих газотермические, газоплазменные, электростатические и т.д. Почему это широко не применяется при изготовлении оснастки для бетона? Может быть, это просто не выгодно производителям форм?

И еще вопрос. Как будут влиять добавки на износ смесительного оборудования, в частности, при использовании соляной кислоты как ускорителя твердения?

С уважением, Николай Александрович

Сергей Ружинский

to: Николай Александрович

В присутствии соляной кислоты и ее солей очень сильно интенсифицируется коррозия железа. Это факт неоспоримый – кислая среда ведь.

Таким же фактом является и то, что в щелочной среде коррозии железа нет вообще – происходит т.н. щелочное пассивирование железа. На этом принципе зиждется долговечность железобетона: в цементном камне сильно щелочная среда с pH около 13 – арматура не корродирует абсолютно. При понижении этой внутрипоровой щелочности (до $\text{pH} < 11$) начинается ее коррозия.

Понизить внутрипоровую щелочность способна вода, если она инфильтруется сквозь толщу бетона или проникает через трещины и неплотности, либо углекислый газ из атмосферы.

Влияние хлористых солей на коррозию проявляется в том, что ионы хлора ее, по сути, провоцируют своеобразным видом.

Это очень грубое объяснение, за подробностями прошу обращаться к мэтрам:

Алексеев С. Н., Иванов Ф. М., Модры С., Шисль П. Долговечность железобетона в агрессивных средах.

Алексеев С. Н., Ратинов В. Б., Розенталь Н. К., Кашурников Н. М. Ингибиторы коррозии стали в железобетонных конструкциях.

Бабушкин В. И. Защита строительных конструкций от коррозии, старения и износа.

Бабушкин В. И. Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона.

Розенфельд И. Л. Ингибиторы коррозии.

В пенобетоне, разумеется, никакой арматуры нет вообще, поэтому и коррозионная активность хлоридов на стадии эксплуатации нас не должна интересовать в принципе.

Но вот на стадии приготовления – да, действительно должны возникнуть вопросы: как поведет себя кислый ускоритель по отношению к железу в оборудовании и формах? Но здесь следует обязательно учитывать тот факт, что соляная кислота и ее кальциевые соли (хлорид кальция) вступают в прямую и непосредственную реакцию с мономинеральными составляющими цементного клинкера – по сути, расходуются на образование новых веществ, и на стадии приготовления не способны значительным образом «сдвинуть» pH цементного раствора из щелочной в кислую область. Иными словами, хлориды опасны для оборудования и формоснастки только при непосредственном контакте (на стадии приготовления добавки, ее транспортирования, дозирования и т.д.) и неагрессивны, будучи УЖЕ введенными непосредственно в бетонную смесь.

Кроме того, хлористые соли достаточно успешно поддаются ингибированию внешними ингибиторами. Именно в таком составе они и применяются в основном промышленностью сборного железобетона. Поэтому мер дополнительной защиты оборудования и формоснастки там не требуется вообще.

По этому поводу приведу свою давнюю заметку, не помню уже, где она была размещена изначально:

«Хлористые соли натрия и кальция, соответственно, хлорид натрия (соль поваренная) и хлорид кальция, давно и успешно применяются в технологии бетонов в качестве ускорителей схватывания и твердения, а в повышенных дозировках и как противоморозные добавки.

Причем в составе противоморозных комплексов предпочтительней именно их совместное применение – они специфическим образом дополняют друг друга: хлорид натрия формирует ускоряющий эффект за счет повышения растворимости минералов гидратирующего цемента без вступления в прямую реакцию с ними, а хлористый кальций вступает в реакцию.

В бетоне без добавок длительное время сохраняется щелочная среда. И если бетон уложен достаточно плотно, углекислота и влага не могут проникнуть в поровое пространство бетона и понизить щелочность. А в щелочной среде железо покрывается пассивирующей пленкой и не корродирует вообще.

Если в состав бетона введены некоторые химдобавки, они нарушают вышеописанный механизм – арматура и закладные элементы начинают корродировать. Особенно опасны в этом отношении добавки-хлориды. И хоть в абсолютном выражении величина этой коррозии ничтожна, тем не менее она может нарушить натяжение арматуры в преднапряженном бетоне (оконные перемычки, плиты перекрытия, ответственные несущие конструкции и т.д.). Для таких конструкций применение чистых хлоридов категорически запрещено на законодательном уровне – береженого Бог бережет.

В то же время промышленность сборного железобетона давно и весьма успешно применяет хлориды. (И различные уловки продавцов зарубежных составов пусть вас не сбивают с толку. Так называемые «бесхлоридные составы» – вовсе не последнее слово импортного бетоноведения, просто их доставка и продажа на постсоветском пространстве более выгодны, чем тех же копеечных хлоридных составов, которые действительно широко применяются за рубежом для общестроительных работ.)

Нейтрализовать вредное действие хлоридов на железо можно при помощи ингибиторов. Наиболее широко для этих целей в строительстве применяются нитриты (не путать с нитратами!). И самый популярный из них – нитрит натрия.

Его применение возможно как в качестве самостоятельной противоморозной добавки, так и в составе хлоридных комплексов – тогда он выступает еще и в качестве ингибитора.

Техногенные отходы азотнотукового производства – нитрозные щелока – это чистейшие водные растворы нитрита кальция и нитрата кальция. Их стоимость – копейки. Столь же дешевы и водные растворы хлористого кальция – отход содового производства. Если все это смешать в кучу, получается знаменитый ННХК (нитрит-нитрат-хлорид кальция). В нем самый эффективный ускоритель/противоморозная добавка; хлористый кальций ингиби-

рован нитритом кальция, а поровое пространство дополнительно уплотняется нитратом кальция.

Длительность ингибирующего эффекта нитритов на хлориды достоверно еще окончательно не установлена – пока исследовали до срока 30 лет. Тем не менее можно утверждать, что наукой достоверно доказано, что эффект ингибирования сохраняется на протяжении 30 лет.

В построечных условиях ингибировать хлориды достаточно просто – если смешать в равных пропорциях тот же хлористый кальций и нитрит натрия. Пропорция один к одному – это именно та оптимальная концентрация.

И хоть нитрит натрия достаточно распространен в строительной практике, дешев и недефицитен, работать с ним все же следует осторожно. И в первую очередь в организационном плане – не допускать хищений и предупреждать рабочих, что «ЭТО» в мешках – не кухонная соль.

Буквально на днях в Херсоне целая семья отравилась нитритом натрия. Глава семейства работал на стройке, там применяли противоморозную добавку, которую все рабочие незатейливо называли просто солью. И когда подвернулся случай, он не устоял – запаса мешком этой «соли». Приправленная ею каша стала причиной смерти ребенка, еще четверо взрослых попали с отравлениями в больницу. Против мастера участка возбуждено уголовное дело – его обвиняют не в применении запрещенного вещества (нитрит натрия разрешен к применению официальным строительным законодательством), а именно в том, что не инструктировал должным образом рабочих».

6.8 Нитраты. Кальций азотнокислый $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ и натрий азотнокислый NaNO_3

Натриевая и кальциевая соли азотной кислоты – натрий азотнокислый (натриевая селитра) и кальций азотнокислый (кальциевая селитра) – давно и широко применяются в промышленности и сельском хозяйстве. Их массовое производство налажено практически во всех странах мира. Соответственно, и экономика их использования в качестве ускорителей в строительной индустрии весьма привлекательна. Мало того, во многих химических производствах эти вещества образуются как побочные примеси либо как продукт утилизации нитрозных газов.

Многим химическим технологиям сопутствует образование так называемых «хвостов» азотной кислоты. Низкоконцентрированные водные растворы азотной кислоты нерационально или невозможно использовать в дальнейшем технологическом процессе. А их утилизация достаточно обременительна по

природоохранным соображениям. Нейтрализация «хвостов» мелом или извешью позволяет получить водный раствор нитрата кальция – прекрасное удобрение для сельского хозяйства.

Вообще, на Западе кальциевая селитра очень популярна в качестве удобрения. И хотя свободно усваиваемого растениями азота в ней немного, она дешева и способствует раскислению почв, позволяя вносить в почву единократно большие порции органики.

На отечественных просторах нитрат кальция не прижился – свободного азота маловато, чтобы возить за тысячи километров. (У нас упор делался прежде всего на аммонийные составы.)

Ограниченное применение аграриями сформировало и определенный дефицит кальциевой селитры. Местных производств практически не было, разовые нужды покрывались зарубежными поставками. Цены на нее не могли удовлетворять запросы строителей – нитрат кальция использовался в основном как достаточно экзотичный и дорогой ускоритель для водонепроницаемых или гидротехнических бетонов.

Ориентируясь на западного потребителя, несколько российских химических заводов возобновили выпуск кальциевой селитры. (Как же, ждут их там!..)

Наученные горьким опытом российских коллег, украинцы пошли другим путем – организовали внутреннее потребление нитрата кальция в качестве компонента эмульсионных взрывчатых веществ. Побочным, кальциевая селитра стала перепадать аграриям – сельское хозяйство Украины сейчас на подъеме (во всяком случае, стало платежеспособным). Разумеется, там, где производятся и потребляются десятки тысяч тонн, всегда найдется вагон-другой для строителей.

Но строительная индустрия оказалась, по сути, не готовой воспринять такую «манну небесную». До сих пор она рассматривает нитраты (и формиаты, кстати, тоже) как некую импортную забаву, абсолютно оторванную от отечественных реалий: они там, мол, с жиру бесятся, не знают, куда деньги девать.

Между тем, нитрат кальция как ускоритель схватывания по своей эффективности всего на 15–20 % уступает хлористому кальцию. Причем в повышенных дозировках он является прекрасной противоморозной добавкой. А в комплексе с нитратом натрия и особенно формиатом натрия – основой полифункциональных составов широкого спектра направленности. К тому же он позволяет получать высокоплотные и водонепроницаемые бетоны и не корродирует арматуру.

Наиболее целесообразно применение нитрата кальция с низко- и среднеалюминатными цементами, портландцементом ($S_3A < 8$) и при твердении бетона в нормальных тепловлажностных условиях. Эффективно также его использование со шлакопортландцементом, содержащим более 30 % доменного гранулированного

Вид цемента	В/Ц	Добавка нитрата кальция, в % от массы цемента	Изменение осадки конуса в см, по времени (часы)			
			0	0,5	1,0	1,5
ПЦ-400 (Михайловский)	0,65	0	5,5	5	4,5	3,8
	0,65	1	5,5	4,5	4	3,5
ПЦ-400 (Белгородский)	0,66	0	4	3,5	3	2,5
	0,66	0,5	4	3,5	3	3
	0,67	1	5	4,5	4	3
	0,73	0,5	4,5	4,5	4	3,5

Примечание:

Данная таблица малоинформативна для пенобетонщиков, но все же многое скажет производителям литьевого бетона для монолитного домостроения

Таблица 6.8.1-1 Изменение осадки конуса растворяемых смесей состава 1:4, $t = 15-20^\circ\text{C}$ с добавкой нитрата кальция

шлака (независимо от минералогического состава клинкера), – если предусмотрено пропаривание бетона до 100°C .

Чем больше удельная поверхность зерен цемента, то есть чем выше марка и тоньше помол, тем эффективнее действие НК.

6.8.1 Влияние нитрата кальция на бетонные смеси на стадии схватывания

См. таблицу 6.8.1-1.

6.9 Сводная информация по ускорению твердения бетона и пенобетона

Для получения высокопрочных и быстротвердеющих бетонов применяют материалы высокого качества и ряд технологических приемов при изготовлении конструкций. Наиболее существенными из них являются:

1. Применение быстротвердеющих портландцементов высокой марки.
2. Добавки химических веществ – ускорителей схватывания и твердения цемента.
3. Мокрый или сухой домол цементов.
4. Применение жестких бетонных смесей.
5. Высокоэффективное смешение и гомогенизация компонентов бетонной смеси, а также применение вибросмесителей.

6. Предельно возможное снижение водоцементного соотношения.
7. Эффективное уплотнение бетонной смеси с применением разночастотного вибровоздействия, центрифугирования, вакуумирования и т. д.
8. Оптимизация гранулометрии заполнителей.
9. Применение промытых, фракционированных заполнителей из прочных пород.
10. Интенсификация гидратации цемента тепловлажностной обработкой.
11. Ускорение твердения бетона путем предварительного подогрева бетонной смеси.

Применяя все или большинство из названных приемов, достаточно легко можно получить бетон, прочность которого в суточном возрасте составит не менее 200–400 кг/см².

Самым простым (но не всегда самым эффективным) способом получения высокопрочных быстротвердеющих бетонов является введение в их состав химических модификаторов – ускорителей схватывания и твердения. Наиболее распространенные ускорители достаточно подробно были рассмотрены ранее. Но у приведенного описания, как и у практически всех остальных публикаций на эту тему, отсутствует один очень важный показатель, можно сказать, решающий, согласно которому можно было бы, особо не вникая во все тонкости, определиться с выбором той или иной добавки, не погружаясь в научные (а подчас и псевдонаучные) дебри современного бетоноведения. Я имею в виду сводную характеристику степени эффективности химических добавок.

Согласитесь, трудно сделать какие-либо выводы по результатам разрозненных исследований, учитывая их многофакторность. Разные исследователи применяют цементы, различающиеся по минералогии, тонине помола, нормальной густоте, количестве инертных добавок и т. д.; различные пропорции бетонов, различные водоцементные соотношения, различные условия уплотнения и твердения и т. д. и т. п.

Немаловажен также фактор профессионализма как при самом планировании и проведении экспериментов, так и при интерпретации их результатов. Не следует также сбрасывать со счетов конъюнктурные интересы тех или иных исследований или целых научных школ.

Глупо надеяться, что некий добрый дядя возьмется и проведет подобное обобщающее исследование по всем добавкам: трудозатраты полного комплексного сравнительно-оценочного исследования только шести добавок занимают 400 человеко-дней в условиях первоклассно оборудованной лаборатории. И если сейчас они где-нибудь и проводятся, верх наивности искать подробный отчет о них в открытой печати.

Вид добавки	Количество добавки, в % от веса цемента	Предел прочности при сжатии в возрасте					
		1 сутки		3 суток		28 суток	
		в кг/см ² (абсолютная)	в % (от марочной без добавок)	в кг/см ² (абсолютная)	в % (от марочной без добавок)	в кг/см ² (абсолютная)	в % (от марочной без добавок)
Без добавок (контроль)	0	102	26	263	63	418	100
Хлористый кальций – CaCl ₂	1	169	40	346	83	487	116
Хлористый натрий - NaCl	1	180	43	377	90	426	102
Азотнокислый натрий (селитра натриевая) - NaNO ₃	1	151	36	331	79	486	115
Сернокислый глинозем + хлористый кальций	3 + 1	158	38	350	84	583	140
Хлористый алюминий – AlCl ₃	1	153	37	250	60	420	100
Нитрат кальция (селитра кальциевая) – Ca(NO ₃) ₂	3	150	36	340	79	478	114
То же	5	165	39	330	78	452	108

Примечание:

Бетон был изготовлен по составу 1:2:3.76 при В/Ц=0,43, жесткость смеси – 30 сек

Таблица 6.9.1-1 Влияние химических добавок на ускорение твердения бетона на белгородском портландцементе при температуре +17 °C

6.9.1 Сравнительно-оценочная характеристика добавок-ускорителей

И все же результаты таких комплексных исследований мне удалось найти (см. *таблицу 6.9.1-1*). Они были проведены в 50-60-х годах в НИИЖБе под эгидой Госстроя СССР и, к сожалению, касаются только нескольких ускорителей – наиболее распространенных, популярных и эффективных в технологии тяжелых бетонов. Причем подписались под результатами не кто-нибудь, а светила мирового бетоноведения – Сергей Андреевич Миронов и Лариса Алексеевна Малинина. Специалистам эти фамилии о многом скажут, а не специалистам... Но поверьте на слово, этим исследователям можно всецело доверять. Никогда бы они не стали размениваться на всякие подтасовки и конъюктурщину – авторитет не позволил бы. Другие люди, другое время: не там запятую поставил – в тюрьму... (Вообще, жутко люблю те старые, добрые советские отчеты. Если

Добавка		Прочность, % от R28=39 МПа, через		
вид	количество, % от массы цемента	0.5 часа	1 сутки	28 суток
Контроль	0	53	62	91
Хлористый натрий NaCl	1	63	78	106
	2	60	76	103
Нитрит натрия NaNO ₂	1	60	73	95
	2	63	76	99
Сульфат натрия Na ₂ SO ₄	1	66	68	92
	2	64	70	91
Поташ K ₂ SO ₄	1	51	55	85
	2	40	50	79
Сода K ₂ CO ₃	1	45	52	84
	2	37	42	61
Хлористый кальций CaCl ₂	1	70	75	105
	2	60	70	100
Нитрат кальция Ca(NO ₃) ₂	1	15	72	100
	2	38	60	90
	6	52	76	91
Хлористое железо FeCl ₃	1	14	49	86
	1.5	8	36	75

Примечание:

Состав бетона 1:1.7:2.4:0.5 (цемент:песок:щебень:вода), приготовленного на гранитном щебне и песке с $M_{кр} = 2.1$ и быстротвердеющем портландцементе Воскресенского завода. Режим пропаривания 2+2+4+1 при температуре +80 °С.

Таблица 6.9.1-2 Влияние различных добавок на прочность пропариваемых бетонов.

человек чего не знает – он так и пишет. Если данный параметр или показатель не исследовался – честно ставит в таблице прочерк. Просто, ясно, доходчиво, с конкретным прицелом на практическую применимость. И без всей этой ядерно-магнитно-многофакторно-факториальной мишуры, одобренной «компьютерным анализом». Иногда так и подмывает спросить: «Ты сам-то хоть понял, что написал?»).

В несколько более поздней монографии С. А. Миронова приводятся столь же комплексные и достоверные исследования по влиянию некоторых добавок ускорителей на поведение бетонов при пропаривании (см. таблицу 6.9.1-2).

Повышение прочности при небольших количествах добавок и, наоборот, понижение ее с их увеличением свидетельствует о том, что электролиты, кроме химических реакций, приводят к изменению скорости начальных

В/Ц бетонной смеси	Прочность бетона на сжатие (кг/см ²), в зависимости от возраста (суток)				
	1	3	7	15	28
0,3	180	325	422	480	525
0,4	105	220	303	380	425
0,5	78	144	215	300	345
0,6	47	120	167	238	308
0,7	38	100	147	203	235

Примечание:
Таблица была переведена из графических зависимостей с точностью ± 1 кг/см² (С.Р.)

Таблица 6.9.2-1 Прочность бетона на брянском портландцементе М400 в зависимости от В/Ц при нормальных температурах

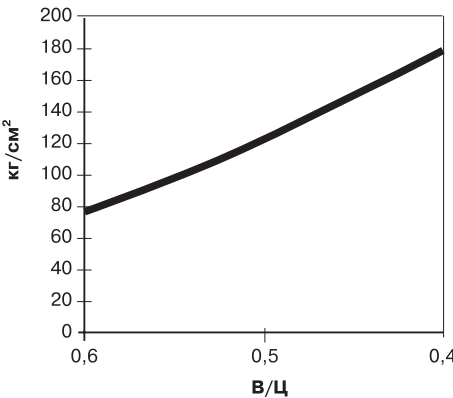
физических процессов, в результате чего изменяются условия формирования структуры бетона.

6.9.2 Влияние В/Ц на кинетику набора прочности бетонами

Уменьшение водоцементного соотношения значительно повышает интенсивность нарастания прочности бетона, особенно в первые сутки его твердения. Были исследованы бетоны нормального твердения на брянском портландцементе М400 (см. таблицу 6.9.2-1).

Из таблицы видно, что с уменьшением В/Ц повышается как темп набора прочности, так и ее конечные, 28-суточные показатели. Причем становится возможным получить бетон прочностью даже выше, чем марка цемента.

При малых В/Ц получаются жесткие и полужесткие смеси, которые весьма затруднительно подвергаются укладке и формовке. Пластификаторы и суперпластификаторы позволяют получать при малых В/Ц достаточно подвижные, вплоть до литых, бетонные смеси. Так что если рассматривать проблему в этом ключе, то и модификация бетонов при помощи пластификаторов, по сути, не являющихся ускорителями, также очень эффективна.



Примечание:
Для построения диаграммы использовался бетон на днепродзержинском цементе

Рис. 6.9.2-1. зависимость суточной прочности бетона от В/Ц

В/Ц	Прочность бетона, % от активности цемента в возрасте, суток			
	1	2	3	28
0,30	30	47	57	110
0,35	28	45	55	100
0,40	25	38	48	80
0,45	20	32	40	70
0,50	16	27	34	63
0,55	14	22	28	56
0,60	12	19	25	50

Таблица 6.9.2-2 Кинетика роста прочности бетона в зависимости от В/Ц

Из таблицы видно, что с уменьшением В/Ц повышается как темп набора прочности, так и ее конечные, 28-суточные показатели. Причем становится возможным получить бетон прочностью даже выше, чем марка цемента.

При малых В/Ц получаются жесткие и полужесткие смеси, которые весьма затруднительно подвергаются укладке и формовке. Пластификаторы и суперпластификаторы позволяют получать при малых В/Ц достаточно подвижные, вплоть до литых, бетонные смеси. Так что если рассматривать проблему в этом ключе, то и модификация бетонов при помощи пластификаторов, по сути, не являющихся ускорителями, также очень эффективна.

Еще более наглядно влияние В/Ц отражается в графическом виде (см. *рис. 6.9.2-1*).

На основании многочисленных экспериментальных данных, проведенных в НИИЖБе, была сформулирована зависимость соотношения прочности бетона по времени в зависимости от активности применяемого цемента и водоцементного соотношения (см. *таблицу 6.9.2-2*).

6.9.3 Уплотнение бетона как фактор управления кинетикой набора прочности для прессованных и вибропрессованных бетонов

Для достижения наибольшей плотности бетона при максимальном снижении В/Ц следует также применять наиболее эффективные методы уплотнения бетонных смесей. Особенно эффективно данное мероприятие на цементах мокрого и сухого домолы с сочетанием двух методов уплотнения – прессования и вибрации с последующим прессованием под давлением. В *таблице 6.9.3-1* приведены результаты испытания мелкозернистого (песчаного) бетона, уложенного с применением вибрации, прессования и вибропрессования.

Как видно из этой таблицы, суточная прочность образцов, уплотненных с совмещением вибрации и прессования, на 40–60% выше прочности образцов,

Метод уплотнения	В/Ц	Предел прочности при сжатии в кг/см ² , в возрасте			Предел прочности при изгибе в кг/см ² , в возрасте		
		1 суток	7 суток	28 суток	1 суток	7 суток	28 суток
Прессование под давлением 50 кг/см ²	0.34	117	150	187	27	—	35
	0.38	142	292	252	22	37	34
То же, 500 кг/см ²	0.34	208	415	440	36	55	59
	0.38	230	389	402	37	54	56
Вибрация с пригрузом 1 кг/см ²	0.34	265	544	662	37	67	79
	0.38	253	591	600	36	69	71
Вибрация с последующим прессованием под давлением 50 кг/см ²	0.31	462	643	803	63	76	87
	0.36	318	689	775	57	83	96
То же, под давлением 500 кг/см ²	0.31	525	648	776	64	83	82
	0.36	392	704	643	59	77	75

Таблица 6.9.3-1 Прочность мелкозернистых бетонов, подвергавшихся различным методам уплотнения

уплотненных каким-либо другим из указанных методов. При этом заметно повышается и прочность на изгиб. Более тесные контакты между частицами и высокая степень уплотнения смеси с содержанием мелких фракций составляющих обуславливают развитие молекулярных сил сцепления. Практическое применение этих эффективных способов уплотнения бетонных смесей нашло в свое время отражение в технологии заводского изготовления железобетонных изделий на вибросиловых прокатных станах. Сейчас эта технология активно внедряется в производство вибропрессованных и вибро-гиперпрессованных кирпичей и элементов мощения.

6.9.4 Влияние домолы цемента на прочностные характеристики бетонов

В процессе развития цементной промышленности на протяжении многих десятилетий качество цемента повышалось за счет улучшения его минералогического состава, усовершенствования обжига клинкера и увеличения тонкости помола цемента.

Для выпуска изделий с повышенными требованиями к срокам твердения бетонных и железобетонных изделий, таких как производство пенобетона, элементов мощения, малых архитектурных форм, производству бетонных изделий по беспропарочной технологии крайне необходимы тонкомолотые цементы.

Одним из направлений получения быстротвердеющих и особобыстротвердеющих цементов – это увеличение удельной поверхности рядовых цементов путем их домола на местах, в шаровых и вибромельницах.

Многочисленные исследования показывают, что наряду с общим увеличением тонины помола обязательно следует регулировать и зерновой состав цементов. Оптимальной степени дисперсности, обеспечивающей быстрое нарастание прочности в возрасте 1–3 суток и равномерное твердение бетона в последующем, отвечает следующий зерновой состав:

- мельче 5 мк – 25 %;
- от 5 до 40 мк – 10–15 %;
- свыше 40 мк – остальное.

При таком зерновом составе цемента его удельная поверхность (по Товарову) будет составлять около 4500–5000 см²/г. Дальнейшее повышение содержания в портландцементе зерен меньше 5 мк может неблагоприятно отражаться на некоторых свойствах бетона. Количество фракции свыше 40 мк, крайне необходимой для обеспечения длительной прочности бетона, в некоторых технологиях, в частности, в производстве пенобетона, можно безболезненно уменьшить в пользу размерности 5–40 мк. Чтобы при этом не произошло переизмельчения цемента и переобогащения его ультрамелкими фракциями, следует применять интенсификаторы помола, способные влиять на гранулометрию (типа специально модифицированного «помольного» лигносульфоната ЛСТМ-2).

В случае необходимости домола на строительных площадках и на заводах сборного железобетона, то есть в местах непосредственного использования цемента, надо использовать гораздо более эффективную схему помола в водной среде сразу в присутствии применяемых модификаторов для бетона. Эта схема не только менее энергоемка, но и позволяет значительно экономить химические модификаторы, а в некоторых случаях, при использовании помольных агрегатов, по своей энерговооруженности способных к механохимической модификации цементов, получать новые эффективные вяжущие, с гораздо более высокими, чем у обычного цемента, характеристиками – ВНВ (вяжущие низкой водопотребности) и «глубокогидратированные» цементы.

Активизация цемента его мокрым домолом в вибромельницах достаточно полно и всеобъемлюще была изучена в 50-60-х годах. Огромная популярность вибродомола в то время была связана и с дефицитом цемента вообще, а его высокомарочных модификаций в особенности. Вибромельницу или даже вибропомольный участок почитал за честь иметь каждый уважающий себя колхоз. Благо конструкция вибромельницы проста и доступна в изготовлении в каждой мало-мальски оборудованной мастерской.

Индустриализация строительства перевела и производство стройматериалов на индустриальную основу. Мелкие вибропомольные установки уже не

Удельная поверхность в см ² /г (по Товарову)	Прочность на сжатие в % от недомолотого цемента, через сутки		
	1 сутки	3 суток	28 суток
без домола	100	100	100
домол до 3500 см ² /г	225	225	190
домол до 4000 см ² /г	283	250	200
домол до 4500 см ² /г	300	267	205
домол до 5000 см ² /г	333	275	214
домол до 6000 см ² /г	367	300	218
домол до 7000 см ² /г	383	308	223
домол до 8000 см ² /г	416	317	227

Примечание:

Для приготовления испытательного раствора 1:3 с В/Ц=0,5 использовался цемент Николаевского завода

Таблица 6.9.4-1 Влияние удельной поверхности цемента на прочность раствора при нормальных условиях твердения

могли на равных тягаться с циклопическими, но очень экономичными заводскими помольными агрегатами. Проблему усугубляло и колхозно-крестьянское мышление многих пользователей вибропомольных установок: установили по принципу «шоб було», а когда начали считать деньги, оказалось, что дорогой, но высокомарочный цемент с блестящими характеристиками по кинетике набора прочности просто не нужен в обычном строительстве. Можно сказать, что в то время строительная индустрия еще попросту не готова была достаточно эффективно распорядиться столь качественным цементом.

Производство пенобетонов немыслимо без качественных и высокомарочных цементах с «крутой» кинетикой набора прочности. Надежды на крупные цементные комбинаты так и останутся радужными надеждами пенобетонщиков — уж слишком мелок и привередлив потребитель для индустриальных гигантов. Никогда в жизни они не станут выпускать тонкомолотые цементы. Крупные партии таких цементах все равно потеряют активность при транспортировке и хранении, а использование их в технологии тяжелых бетонов чревато потерей долговечности. Мелкие же партии выпускать просто экономически невыгодно. Выход видится в организации домолу цементах на местах. Особенно это касается таких критичных к качеству цементах технологий, как пенобетонная. Влияние домолу цементах отражено в *таблице 6.9.4-1*.

Как видно из этих и множества аналогичных данных наибольший прирост во все сроки получается при домоле в течение первых 10–15 минут. Удельная поверхность за этот период увеличивается примерно на 1000 единиц. Увеличивая удельную поверхность, домол в этом случае восстанавливает активность цемента, частично утраченную за счет гидратации, карбонизации и комкования

Тип портландце- мента	Добавка CaCl ₂ в % от веса цемента	В/Ц	Жесткость смеси в сек	Предел прочности при сжатии в возрасте (суток)					
				1 сутки		2 суток		28 суток	
				кг/см ²	в % от марочной без CaCl ₂	кг/см ²	в % от марочной без CaCl ₂	кг/см ²	в % от марочной без CaCl ₂
Высоко- алюминатный ПЦ-400 таузского завода C ₃ S – ??? C ₂ S – ??? C ₃ A – 9 % C ₄ AF – ???	0 (простой домол в воде)	0.35	50	351	51	503	72	694	100
	2	0.35	40	407	59	548	79	752	109
Низкоалюми- натный ПЦ-400 завода «Комсомолец» C ₃ S – 62.7 % C ₂ S – 16.4 % C ₃ A – 3.4 % C ₄ AF – 16.2 %	0 (простой домол в воде)	0.33	45	206	38	414	76	542	100
	2	0.33	35	364	67	501	92	651	120
	2	0.36	15	295	54	425	78	540	100

Таблица 6.9.4-2 Прочность бетона на портландцементных мокрого домолу с одновременной до-
бавкой хлористого кальция (при нормальных условиях твердения)

во время хранения и транспортирования. Дальнейшее увеличение удельной поверхности при домолу не дает такого значительного увеличения его актив-
ности, поэтому экономически нецелесообразно.

Исследование зернового состава цементов, подвергнутых мокрому домолу
в течение 10 минут, показало, что даже за столь короткий период содержание
частиц размером до 10 мк увеличивается от 22–24 % (в исходном цементе) до
50–55 %. Скорость гидратации такого цемента, определяемая по количеству
связанной воды, значительно увеличивается. Таким образом, домол цемент-
тов – очень эффективное средство ускорения его твердения. Он обеспечивает
быстрое растворение минералов цементного клинкера и пересыщение раство-
ра, а также увеличивает число центров кристаллизации в твердеющем цемент-
ном камне.

Еще более эффективен мокрый домол цементов с одновременным введени-
ем добавки ускорителя схватывания и твердения. Эффект от подобного введе-
ния хлористого кальция, например, отражен в *таблице 6.9.4-2*.

Анализ *таблицы 6.9.4-2* показывает, что домолотые в водной среде с добавками ускорителей высокоалюминатные цементы позволяют уже в первые сутки получить марочную прочность, а к 28 суткам значительно ее превзойти.

Применение бетонных смесей с малым В/Ц, использование быстротвердеющих цементов, домолотых цементов, а также применение ускорителей дают возможность в ряде случаев полностью отказаться от тепловой обработки бетонных изделий. При этом все же нужно учитывать, что на интенсивность нарастания прочности быстротвердеющих бетонов на портландцементях с различным содержанием трехкальциевого алюмината и гипса существенно влияет и температура окружающей среды. С ее понижением против нормальной на $2-12^{\circ}\text{C}$ резко замедляется рост прочности бетона. Особенно в первые сутки твердения. В этой связи, для получения быстротвердеющих бетонов и в особенности пенобетонов, следует всячески стараться выдерживать изделия при температуре не ниже $+20^{\circ}\text{C}$. А если, в силу погодных обстоятельств, пенобетон вызревает при пониженных температурах, можно воспользоваться простой зависимостью. В упрощенном виде она гласит: если принять суточную прочность бетона, твердевшего при температуре $+20^{\circ}\text{C}$, за 100 %, то каждый градус ниже этой цифры дает снижение суточной прочности на 5 %. Иными словами, при температуре $+10^{\circ}\text{C}$ мы получим только половину суточной прочности, достижимой при $+20^{\circ}\text{C}$.

6.9.5 Ускорение твердения бетона и пенобетона путем предварительного разогрева бетонной смеси

При производстве железобетонных элементов на полигонах, особенно при изготовлении массивных конструкций для промышленного строительства, в ряде случаев целесообразно применять так называемый теплый бетон. Это позволяет организовать передвижные установки небольшой мощности для производства крупных железобетонных элементов без больших материальных затрат и в очень короткое время.

Сущность метода заключается в приготовлении теплой бетонной смеси и последующем сохранении тепла в бетоне в течение определенного времени после укладки его в форму.

В свое время ученые из ГДР провели специальные исследования по этому вопросу и установили оптимальные параметры применения теплого бетона при изготовлении сборных железобетонных конструкций. Основная цель применения теплого бетона – получение требуемой прочности в начальные сроки твердения.

По данным этих исследований, теплый бетон целесообразнее всего получать путем нагревания заполнителей до $+60-80^{\circ}\text{C}$, а в ряде случаев также

и воды – до $+30^{\circ}\text{C}$. Температуру заполнителя устанавливают в зависимости от температуры наружного воздуха и других составляющих смеси, а также с учетом возможных теплопотерь во время транспортировки.

Скорость нагрева заполнителей в значительной мере определяется их крупностью. Так, песок может быть нагрет до $+60^{\circ}\text{C}$ в среднем за 30 мин, фракции щебня 3–7 мм – за 2 часа, а 7–15 мм – за 3–5 часов. Влажные заполнители нагреваются быстрее сухих.

Нагревают заполнители в сушильном барабане или в силосе. В качестве сушильных барабанов можно использовать установки, применяемые для нагревания щебня в дорожном строительстве. В силосах заполнители можно нагревать паром, поступающим туда через перфорированные трубы, но в этом случае влажность заполнителя будет неравномерной. Возможно также применение отопительных силосов. Однако сушильные барабаны имеют некоторые преимущества, так как заполнители в них нагреваются быстрее и равномернее. Кроме того, в сушильных барабанах можно регулировать температуру нагрева. Для регулирования температуры бетона допускается подогрев воды, однако результаты исследований показывают, что ее максимальная температура не должна превышать $+30^{\circ}\text{C}$, а минимальная $+10^{\circ}\text{C}$. Для получения теплого бетона можно использовать портландцементы марок 400 и выше различного минералогического состава, а также шлакопортландцемент, содержащий не более 30 % шлака. Процесс приготовления теплого и обычного бетона ничем не отличаются. Перемешивать бетон рекомендуется в бетономешалках принудительного действия.

Для теплой бетонной смеси характерны сокращенные сроки схватывания. В связи с этим она должна быть уложена в формы и уплотнена в течение 30 мин с момента выхода из бетономешалки.

Как показали исследования, наиболее целесообразная температура бетонной смеси при выходе ее из бетономешалки должна составлять $+35\text{--}38^{\circ}\text{C}$. При нагреве до более высоких значений прочность бетона, по сравнению с образцами нормального твердения, снижается сильнее. Значительно быстрее возрастает и жесткость бетонной смеси – ее уже не удастся тщательно уплотнить, а это еще один фактор снижения марочной прочности. Поэтому такой прогрев нельзя признать экономически оправданным.

Как показали опыты, применение теплого бетона эффективно лишь для малоподвижных и подвижных бетонных смесей при расходе цемента не менее 350 кг/м³. Исключительно из технологических соображений нельзя применять теплый бетон при изготовлении жестких бетонных смесей с низким водоцементным отношением (менее 0,35). Так, например, при нагреве до $+40\text{--}45^{\circ}\text{C}$ уже через 6–10 мин с момента приготовления бетонная смесь настолько теряет свою подвижность, что становится непригодной для укладки.

Эффективность применения теплого бетона значительно повышается по мере увеличения активности цемента. Интенсивность твердения бетона на портландцементе марки 600 примерно на 30 % больше, чем у бетона на портландцементе марки 400. Высокомарочные цементы не только высокоактивны, что уже само по себе обеспечивает более высокий темп твердения, – они выделяют также большое количество тепла, что повышает температуру бетона, а это способствует его ускоренному твердению. Поэтому чем выше марка цемента и больше расход его на кубометр бетона, тем значительнее эффект от применения теплого бетона. При расходе 400–700 кг/м³ высокомарочного портландцемента удастся уже через 6–8 часов после укладки получить бетон с прочностью порядка 120–220 кг/см², что вполне достаточно для распалубки и транспортирования сборных железобетонных элементов.

Сравнительный анализ нормального (+18 °С) и теплого (+35 °С) бетонов показывает, что через 12 часов прочность теплого бетона по сравнению с нормальным на 80–100 % выше. Однако уже через 1–3 суток их прочность выравнивается, а через 28 суток прочность теплого бетона примерно на 20 % ниже, чем бетона нормального твердения. При нарушении технологии приготовления теплого бетона недобор прочности в ряде случаев может достигать 35 %.

В связи с этим изделия из теплого бетона после распалубки необходимо в течение первых суток увлажнять двух- или трехкратным поливом водой при температуре не ниже +20 °С. Зимой изделия из теплого бетона следует защищать от замерзания.

Эффективность применения теплого бетона в значительной степени определяется степенью сохранения в нем тепла на начальной стадии твердения. При этом чем выше скорость охлаждения теплого бетона, тем больше будут потери прочности к его 28-суточному возрасту, по сравнению с бетоном нормального твердения.

Наибольший эффект дает выдерживание бетона в формах в течение 8–12 часов. Если опалубку снять раньше, то бетон будет быстрее охлаждаться, приобретая невысокие значения прочности. При более поздних сроках распалубки теряется эффект от применения теплого бетона. Продолжительность твердения и его рекомендуемую температуру отражает *таблица 6.9.5-1*.

Для сохранения тепла целесообразно применять деревянные формы, обитые жстью, теплопроводность которых ниже, чем металлических. *Таблица 6.9.5-2* отражает разницу между температурой бетона в деревянной и стальной опалубках.

Из *таблицы 6.9.5-2* явственно видно, что при использовании металлических форм следует обязательно применять теплоизоляцию, иначе температура бетона резко снижается и потеряется весь эффект его ускоренного твердения. Особенно отчетливо это проявляется не в лабораторных образцах, а в натурных

	Продолжительность твердения (в часах)												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Рекомендуемая температура бетона, °С.	35	34	33	32	40	45	45	45	45	40	35	30	28

Таблица 6.9.5-1 Рекомендуемые изменения температуры при твердении теплого бетона в зависимости от времени выдержки

	Вид материала опалубки	Температура в °С в зависимости от продолжительности твердения (в часах)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Температура образца	Дерево	35,0	33,5	33,0	36	38,5	40,5	41,5	41,0	40,5
	Сталь	35,0	31,0	27,0	25,0	24,0	23,0	23,5	24,0	24,0
Температура изделия	Дерево	35,0	30,5	32,0	36,0	38,5	40,5	41,5	41,5	40
	Сталь	35,0	17,5	24,0	25,0	26,0	26,0	26,5	26,5	25,5

Примечание: в качестве образца использованы кубики 20х20х20 см; размерность изделия в первоисточнике не уточняется

Таблица 6.9.5-2 Влияние материала опалубки на изменение температуры теплого бетона

изделиях; из-за такой, казалось бы, мелочи становится невозможным воспроизвести замечательные лабораторные эксперименты в натуральных условиях. При производстве пенобетона требования не столь жесткие – все-таки его теплопроводность намного ниже традиционных тяжелых бетонов. Но и в этом случае следует минимизировать теплотери любыми доступными способами.

Чтобы снизить теплотери бетона, следует использовать его в производстве массивных конструкций, поскольку в этих изделиях потери тепла меньше, чем в тонких и плоских элементах. Минимально допустимой толщиной стенки при изготовлении изделий по этому методу можно ориентировочно считать 0,2 м. Если же толщина изготавливаемых элементов будет меньше указанной величины, то изделия в форме необходимо дополнительно прогревать.

Проводились также опыты и с последующим пропариванием теплого бетона. По их результатам можно сделать вывод, что экономичные короткие режимы пропаривания уже мало отражаются на потенциале прочности, который дает разогретый бетон. При традиционном «длинном» пропаривании теряется смысл в предварительном разогреве бетона. Вывод – нужно применять что-нибудь одно: или предварительный разогрев бетона с максимально возможным теплосохраниением, или традиционные режимы ТВО.

Рассматривая теплые бетоны, или бетоны, подвергаемые форсированному нагреву или саморазогреву, следует учитывать то обстоятельство, что форсированная гидратация бездобавочных цементов чревата спадом марочной 28-суточной прочности. Объясняется это тем, что при повышенных темпера-

турах происходит слишком быстрое образование кристаллических сростков и коллоидных оболочек новообразований. Эти оболочки мешают дальнейшему углублению процессов гидратации минералов клинкера. Для устранения этого нежелательного явления необходимо предусмотреть введение в бетон активных кремнеземистых добавок – доменных шлаков, золы-уноса и т. п., способных поставлять в систему свободные гидроокиси кальция, тем самым нормализуя нежелательные процессы. В качестве самостоятельной или дополнительной меры можно вводить в бетон и свободную гидроокись кальция извне – в форме молотой извести, например.

6.9.5.1 Некоторые методологические замечания к вопросу предварительного разогрева бетонов

В начале 30-х годов профессор Иван Андреевич Кириенко провел очень интересные исследования. И хотя он специализировался на методологии ведения бетонных работ на морозе, вопросу предварительного разогрева бетона уделил самое пристальное внимание, так как это один из способов ведения работ в условиях холода.

Замечательные исследования! Дотошные, скрупулезные, убедительные, парадоксальные в выводах и ... забытые.

По этому поводу корифей «зимнего» бетонирования, Сергей Андреевич Миронов, сказал: «К сожалению, отправные положения технологии бетона о влиянии температурного фактора на консистенцию бетонных смесей и прочность бетона, разработанные еще в 30-е годы многими учеными, в настоящее время при разработке новых технологических приемов повышения температуры бетонных смесей до укладки порой остаются без внимания. Это приводит, как правило, к серьезным заблуждениям ряда исследователей, оценивающих преимущества того или иного способа предварительного разогрева бетонных смесей».

Осмелюсь озвучить отдельные положения исследований И. А. Кириенко, тем более что они самым неожиданным образом перекликаются с темой ускорения времени распада и прочности пенобетонов.

6.9.5.1.1 Влияние температуры среды на количество воды для получения теста нормальной густоты (НГ)

С изменением температуры меняется и количество воды, необходимое для получения теста нормальной густоты. Это изменение отражает формула

$$W = W_{20} \cdot (1 + 0,004 \cdot (t - 20))$$

где:

W – водоцементное соотношение для (НГ) при искомой температуре;

W_{20} – водоцементное соотношение для (НГ) при температуре +20 °С;

t – реальная температура цементного теста (среды)

Из этой формулы следует очень важный вывод практического характера: с изменением температуры цементного теста (среды) изменяется и количество воды, необходимой для получения теста нормальной густоты. Иными словами, изменяя температуру цементного теста с $+20^{\circ}\text{C}$ до $+100^{\circ}\text{C}$, требуется и воды добавить – целых 34 % от первоначального объема. А раз так, то рецептура теплых бетонов, разогреваемых до укладки, обязательно должна предполагать и увеличение количества цемента. Но это к нам не относится – греть будем уже после укладки (смотри далее).

А если пойти от обратного: количество воды в системе осталось неизменным, но повышение температуры из-за саморазогрева уже уложенного бетона изменило реальное В/Ц в сторону уменьшения. И если мы работаем с далеким от оптимума, но достижимым, исходя из технологических особенностей конкретного производства В/Ц = 0,6, нагрев бетон до $+100^{\circ}\text{C}$ уменьшает наше В/Ц на весь период поддержания такой температуры на треть – до 0,4(!), а это чуть ли не теоретический оптимум, залог как высокой прочности, так и быстрого ее набора. Произошедшее при этом значительное повышение жесткости смеси нам только на руку, ведь пенобетонная смесь уже поризована и уложена, и снижение несущей способности разлагающейся пены будет вовремя поддержано повышением структурной вязкости цементной матрицы.

6.9.5.1.2 Влияние температуры среды на всасывающую способность песка и щебня

В бетонных работах при выборе водоцементного отношения обычно вводят поправку на водопоглощаемость заполнителей. Имеющиеся данные о водопоглощаемости песка и щебня, как правило, справедливы для нормальной температуры $+20^{\circ}\text{C}$. (Здесь и далее акцентируется внимание именно на водопоглощении песка – не путать с водопотребностью, производной от пустотности песка.)

Между тем всасывающая способность песка и щебня зависит от структуры материала, от его капиллярной решетки, термического состояния и влажности окружающей среды. Изменение всасывающей и водопоглощающей способности песка и щебня мало изучено. Это исключительно важно при бетонных работах, когда происходит значительный нагрев песка и щебня до температур выше $+30^{\circ}\text{C}$. Но если нагрев заполнителя ведется до его введения в состав бетона, накопившаяся влага после нормализации температуры увеличивает В/Ц. Если же осуществляется нагрев заполнителя, уже находящегося в составе бетона, происходит снижение В/Ц на весь срок подобного термовоздействия.

Капиллярные свойства песка и щебня в значительной степени влияют на истинную величину водоцементного отношения. С учетом этого были проведены научно-исследовательские наблюдения над кварцевым песком и щебнем из

гранита и песчаника при температуре $+20^{\circ}$, $+40^{\circ}$, $+60^{\circ}$, $+80^{\circ}$ и $+100^{\circ}\text{C}$. Нагревание материалов производилось в термостате, где для каждой группы образцов устанавливалась постоянная температура при помощи ртутного термометра. Были получены следующие результаты:

- 1) Всасывающие способности песка и щебня усиливаются с повышением температуры (см. *таблицы 6.9.5.1.2-1 и 6.9.5.1.2-2*).
- 2) Влагоемкость крупного заполнителя (щебня) значительно меньше, чем мелкого (песка), и она менее изменчива под воздействием температурного фактора. Это объясняется возникновением гидравлических пробок в крупных порах крупных щебенки. В мелких щебенках (а тем более в песке) крупных пор, по своим геометрическим размерам соизмеримых с крупинкой песка или щебня, гораздо меньше. Преобладают мелкие поры, в которых начинают активно работать капиллярные силы.
- 3) С увеличением температуры подогрева влагоемкость щебня сильно увеличивается: при увеличении температуры от $+20^{\circ}\text{C}$ до $+100^{\circ}\text{C}$ влагоемкость гранита и песчаника возрастает вчетверо (см. *таблицу 6.9.5.1.2-2*).
- 4) Абсолютная величина всасывающей способности и влагоемкости песков и щебня, вследствие их относительно большого объема в бетоне, довольно значительна и влияет на водоцементное отношение. Изменение этой величины под действием температуры, не учитываемое на практике, порождает значительную ошибку в определении водоцементного отношения, а следовательно, проектной прочности и качества бетона.

Следует оговориться, что приведенные в таблицах данные всасывающей способности и влагоемкости песка и щебня не претендуют на исключительную точность ввиду отсутствия точной методики исследования и разной минералогической и петрографической природы заполнителей в каждом конкретном случае. Но они наглядно отражают общую тенденцию, а это главное.

(В настоящее время методологическая и научная база проведения подобных исследований имеется. Но у специалистов теоретического бетоноведения напрочь исчезло желание публиковать на некоммерческой основе и в открытой печати хоть что-то, заслуживающее внимания.)

А теперь опять пойдем от обратного. Представим, что наша пенобетонная смесь сразу после приготовления вдруг резко, каким то чудесным образом, разогрелась сама собой. Ну, скажем, до $+80^{\circ}\text{C}$. Если в этой пенобетонной смеси есть песок, то в течение первых же 10 минут подобного термического воздействия его влагоемкость увеличится более чем в 5 раз.

Возьмем натурный пример. Для приготовления пенобетона при $t +20^{\circ}\text{C}$ использовали:

	Количество поглощенной воды в % от веса песка в зависимости от времени (в минутах)										
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
При t = 20 °C	2,81	4,84	6,30	7,87	9,11	10,35	11,25	12,03	12,77	13,35	–
При t = 40 °C	6,41	12,6	15,15	15,48	–	16,14	–	16,25	16,25	16,25	16,25
При t = 60 °C	14,62	16,42	16,53	–	16,60	16,60	16,60	16,60	–	–	–
При t = 80 °C	15,30	16,65	16,81	–	16,87	16,93	–	17,10	17,15	17,21	–
При t = 100 °C	18,33	–	18,39	–	–	–	–	18,45	18,45	18,45	18,45

	Количество поглощенной воды в % от веса песка в зависимости от времени (в минутах)										
	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220
При t = 20 °C	13,39	–	14,73	–	15,07	–	15,41	–	15,64	–	15,75
При t = 40 °C	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
При t = 60 °C	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
При t = 80 °C	17,27	17,27	17,27	17,27	–	–	–	–	–	–	–
При t = 100 °C	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Примечание:

Некоторую «непричесанность» данных из этой таблицы следует отнести на несовершенство эксперимента – он проводился в конце 20-х годов, и проблема термостабилизации решалась во многом благодаря профессиональному чутью лаборанта, поскольку электронных терморегуляторов тогда еще не существовало. Более свежих исследований по данному вопросу найти мне не удалось, а все ученые уже более 70 лет ссылаются именно на данные, полученные Кириенко.

Таблица 6.9.5.1.2-1 Влияние температуры и времени выдержки на водопоглощение песка

Вид щебня	Количество поглощенной воды в % от веса щебня в зависимости от температуры в °C				
	+20 °C	+40 °C	+60 °C	+80 °C	+100 °C
Гранитный щебень, фракция 40 мм	0,10	0,15	0,23	0,30	0,40
Гранитный щебень, фракция 10 мм	0,12	0,20	0,34	0,38	0,42
Песчаниковый щебень	0,28	0,59	0,63	0,90	1,18

Таблица 6.9.5.1.2-2 Влияние температуры и времени выдержки на водопоглощение щебня

- цемента 450 кг;
- песка 350 кг;
- воды 270 кг ($V/C=0,6$).

Предположим, что сразу после заливки в формы наш пенобетон самопроизвольно разогрелся до температуры $+80^{\circ}\text{C}$.

Согласно *таблице 6.9.5.1.2-1*, под воздействием температуры песок всосал в себя дополнительно $(15,30 - 2,81) = 12,49\%$ воды от своей массы. В нашем случае это составит $(350/100) \cdot 12,49 = 43,72$ кг.

В конечном итоге, в результате подобного температурного воздействия V/C стало не 0,6, а $(270 - 43,72)/450 = 0,5$

А почему это вдруг пенобетон у нас самопроизвольно разогрелся до столь высокой температуры? Но об этом дальше.

6.9.5.1.3 Влияние температуры среды на сроки схватывания цемента

Повышение температуры среды против эталонных $+20^{\circ}\text{C}$ однозначно ускоряет как начало схватывания, так и его длительность. Ее снижение, соответственно, замедляет эти процессы. В качестве примера приводятся данные по одному виду цемента (см. *таблицу 6.9.5.1.3-1*).

Эта закономерность справедлива и для иных цементов: при повышении температуры от нормальной ($+20^{\circ}\text{C}$) до $+100^{\circ}\text{C}$ начало схватывания ускоряется примерно в 4 раза, а окончание происходит почти в 6 раз быстрее.

При понижении температуры до $+1^{\circ}\text{C}$ начало схватывания происходит примерно в 6 раз медленнее, а сам процесс растягивается почти до суток – удлинится в 5 раз. Если не брать в расчет температурные крайности, то легко заметить, что даже несущественные 5 градусов в сторону понижения способны настолько удлинить схватывание, что за это время пенобетонная масса, так и не набрав даже толики самонесущих свойств, осядет под собственным весом – ведь запас стойкости самого распрекрасного пенообразователя не безграничен.

А если учитывать влияние нагрева пенобетона и на водопотребность для достижения (НГ) (см. ниже), то по совокупному эффекту нагрев пенобетона приводит к его практически мгновенному внутреннему обезвоживанию. Благодаря этому поризованная масса в течение нескольких минут становится жесткой, а следовательно, и самонесущей – ее практически сразу можно распалубовать. Под воздействием высокой температуры многократно ускоряется схватывание и твердение бетона.

Вывод: чтобы пенобетонная масса не оседала, ее нужно прогревать. Желательно, сразу же после разливки в формы. И обязательно посильнее. Как это сделать? Об этом чуть позже.

Период	Время схватывания цементного теста (час)												
	+1 °C	+5 °C	+10 °C	+15 °C	+20 °C	+30 °C	+40 °C	+50 °C	+60 °C	+70 °C	+80 °C	+90 °C	+100 °C
Начало схватывания, через (часов) с момента затворения	12,00	9,18	4,43	3,22	1,87	1,65	1,43	1,23	1,02	0,90	0,73	0,58	0,43
Конец схватывания, через (часов) с момента затворения	23,83	15,72	10,43	6,73	4,70	3,50	2,68	2,17	1,75	1,43	1,18	1,00	0,78

Таблица 6.9.5.1.3-1 Изменение сроков схватывания портландцементного теста нормальной густоты в зависимости от температуры

6.9.5.1.4 Влияние В/Ц бетона на сроки схватывания цемента

Сроки схватывания, указанные в паспорте на цемент, относятся к тесту нормальной густоты. Именно этими сроками обычно и оперируют при моделировании техпроцесса производства пенобетона. Это серьезная ошибка: такое тесто очень жесткое и на практике никогда не применяется (для получения теста нормальной густоты, в зависимости от минералогии цемента, требуется соблюсти $В/Ц < 0.3$). Но при более высоких, реально применяемых водоцементных соотношениях, начало и конец схватывания тоже удлинятся (см. *рис. 6.9.5.1.4-1*), и это обязательно следует учитывать в практической работе. Особенно это касается пенобетонной технологии, родовой признак которой – повышенное В/Ц при весьма критичном требовании по схватыванию цемента, обусловленном периодом стойкости пены.

Экспериментально выведены следующие формулы для пересчета начала и конца схватывания в зависимости от водоцементного соотношения. Начало схватывания рассчитывается по формуле:

$$H_{cx} = H_{nz} + (W - W_{nz}) \cdot 14,5$$

где:

H_{cx} – время начала схватывания при искомом водоцементном соотношении;

H_{nz} – время начала схватывания теста нормальной густоты при $t + 20^{\circ}C$ (из паспортных данных на цемент);

W – реально используемое В/Ц;

W_{nz} – В/Ц для получения теста нормальной густоты при $t + 20^{\circ}C$ (из паспортных данных на цемент).

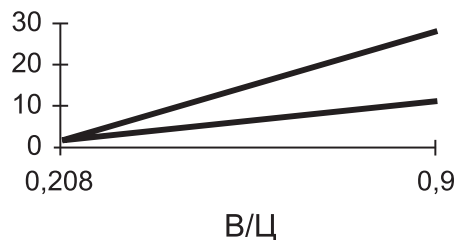
Конец схватывания рассчитывается по формуле:

$$K_{cx} = K_{nz} + (W - W_{nz}) \cdot 36$$

где:

K_{cx} – время конца схватывания при искомом водоцементном соотношении;

K_{nz} – время конца схватывания теста нормальной густоты при $t + 20^{\circ}C$ (из паспортных данных на цемент);



Примечание:

Нижняя линия – начало схватывания, верхняя – конец схватывания

Таблица 6.9.5.1.4-1. Графики изменения сроков схватывания цемента в зависимости от В/Ц

W – реально используемое В/Ц;
 $W_{нз}$ – В/Ц для получения теста нормальной густоты при $t + 20^\circ\text{C}$ (из паспортных данных на цемент).

Пример расчета.

Предположим, что из паспортных данных на цемент известно, что В/Ц для получения теста нормальной густоты $W_{нз} = 0,208$, начало схватывания теста нормальной густоты $H_{нз} = 1,42$ часа, конец $K_{нз} = 2,45$ часа. Требуется найти начало и конец схватывания для реального водоцементного соотношения $W = 0,6$.

Итак, начало схватывания будет равно:

$$H_{сх} = H_{нз} + (W - W_{нз}) \cdot 14,5 = 1,42 + (0,6 - 0,208) \cdot 14,5 = 7,104 \text{ часа}$$

Конец схватывания, соответственно:

$$K_{сх} = K_{нз} + (W - W_{нз}) \cdot 36,5 = 2,45 + (0,6 - 0,208) \cdot 36,5 = 16,758 \text{ часа}$$

Как видим, цифры в какой-то степени шокирующие. Но они убедительно доказывают, что одной из действенных мер ускоренного твердения пенобетона может явиться применение пластификаторов водопонижителей.

6.9.5.1.5 Влияние одновременно температуры среды и В/Ц на сроки схватывания цемента

Повышение В/Ц и пониженные температуры – вполне обыденная производственная реальность.

Для выяснения степени влияния на сроки схватывания одновременного действия двух факторов была проделана коллосальная научно-исследовательская работа, в результате которой были разработаны математические зависимости, описывающие это явление. В весьма приближенном, но достаточном для практических нужд виде они приобрели вид формул, которые позволяют в любых практических условиях рассчитать сроки схватывания цемента, что особенно важно для изготовления пенобетона как в условиях высокой, так и пониженной температуры при разных В/Ц.

Начало схватывания:

$$H_{\text{вст}} = \beta \cdot (H_{нз} \cdot 366 + (W - W_{нз}) \cdot 14,5),$$

где

$H_{\text{вст}}$ – время начала схватывания при искомом водоцементном соотношении и реальной температуре;

	Температура в градусах											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Величина β	5,23	3,87	3,23	2,84	2,54	2,30	2,12	1,95	1,82	1,69	1,59	1,51
	Температура в градусах											
	13	14	15	16	17	18	19	20	25	30	35	40
Величина β	1,42	1,34	1,27	1,21	1,16	1,08	1,05	1,00	0,83	0,68	0,58	0,50
	Температура в градусах											
	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Величина β	0,44	0,38	0,35	0,31	0,28	0,254	0,233	0,212	0,198	0,184	0,177	0,170

Примечание:

Имеются коэффициенты β и для «северного» варианта, когда лабораторные испытания теста нормальной густоты рекомендуется проводить при +15°C, но в данной публикации я их умышленно опустил.

Таблица 6.9.5.1.5-1 Величины коэффициента β в зависимости от температуры

$H_{из}$ – время начала схватывания теста нормальной густоты при $t + 20^\circ\text{C}$ (из паспортных данных на цемент);

W – реально используемое В/Ц;

$W_{из}$ – В/Ц для получения теста нормальной густоты при $t + 20^\circ\text{C}$ (из паспортных данных на цемент);

β – температурный коэффициент (см. таблицу 6.9.5.1.5-1).

Конец схватывания:

$$K_{кт} = \beta \cdot (K_{из} + (W - W_{из}) \cdot 36,5),$$

где

$K_{кт}$ – время конца схватывания при искомом водоцементном соотношении и реальной температуре;

$K_{из}$ – время конца схватывания теста нормальной густоты при $t + 20^\circ\text{C}$ (из паспортных данных на цемент);

W – реально используемое В/Ц;

$W_{из}$ – В/Ц для получения теста нормальной густоты при $t + 20^\circ\text{C}$ (из паспортных данных на цемент);

β – температурный коэффициент (см. таблицу 6.9.5.1.5-1).

Сравнение гладких кривых, получаемых теоретически по этим формулам, очень хорошо соответствует цифрам, в разное время чисто экспериментально полученным другими исследователями, что еще раз подтверждает их достоверность.

Пример расчета.

Для наглядности возьмем предыдущие исходные данные, но пересчитаем их для температуры +15°C – весьма реальные условия.

Итак, из паспортных данных на цемент известно, что В/Ц для получения теста нормальной густоты $W_{из} = 0,208$ начало схватывания теста нормальной густоты

$H_{\text{нр}} - 1,42$ часа, конец $K_{\text{нр}} - 2,45$ часа. Требуется найти начало и конец схватывания для реального водоцементного соотношения $W=0,6$ и реально существующей в цехе температуры $+15^{\circ}\text{C}$.

Начало схватывания наступит через:

$$H_{\text{вт}} = \beta \cdot (H_{\text{нр}} + (W - W_{\text{нр}}) \cdot 14,5) = 1,27 \cdot (1,42 + (0,6 - 0,208) \cdot 14,5) = 9,02 \text{ часа}$$

Конец схватывания, соответственно:

$$K_{\text{вт}} = \beta \cdot (K_{\text{нр}} + (W - W_{\text{нр}}) \cdot 36,5) = 1,27 \cdot (2,45 + (0,6 - 0,208) \cdot 36,5) = 21,28 \text{ часа}$$

А если «...в цехе нормальная температура $+8^{\circ}\text{C}$, а пенобетон не встает...» (был такой вопрос на форуме сайта www.ibeton.ru)?

Подсчет по приведенным выше формулам показывает, что схватывание наступит через 13,85 часа, а закончится через 32,67 часа с момента приготовления пенобетона! Поэтому критерий «нормальная температура» для пенобетона – никак не ниже $+15^{\circ}\text{C}$, а еще лучше – порядка $+20-25$ градусов.

6.9.5.1.6 Революция в технологии производства пенобетона? Нет, эволюция

Все описанное выше достаточно убедительно свидетельствует – еще при приготовлении пенобетонной массы ее желательно начинать прогревать, но не сильно. Затем, сразу после окончания поризации, прямо в формах, пенобетон нужно как можно быстрее разогреть еще сильнее. Как это сделать без излишних хлопот?

Не зря ведь говорилось выше, что негашеной известью топить можно. При ее гидратации происходит быстрое и обильное выделение тепла. Этот процесс настолько бурный, что негашеную известь запрещено перевозить в деревянных вагонах: если попадет под дождь, вагон загорится – температура достигает $+400^{\circ}\text{C}$, кусок гасящейся извести светится в темноте!

В обобщенном виде рекомендации просты.

На первой стадии молотая негашеная известь вводится в цементную систему совместно с соляной кислотой – образуется ускоритель. Выделившееся при этом тепло осуществляет предварительный разогрев смеси. В теплое время года без этой операции вполне можно обойтись, введя любой другой ускоритель, например, тот же хлористый кальций, уже готовый.

На второй стадии вводится пенообразователь, и в процессе быстрого перемешивания бетонная смесь поризуется, превращаясь в пенобетонную.

Третья стадия – в пенобетонную массу вводится алюминиевая пудра в составе водного раствора любой омыленной смоляной или жирной кислоты (они смывают парафин-консервант с пудры). В процессе последующего перемешивания алюминиевая пудра равномерно распределяется в пенобетонной смеси (гомогенизируется).

Четвертая стадия – в полученную массу вводится молотая негашеная известь. После непродолжительного перемешивания смесь немедленно разливается по формам.

Пятая стадия самая интересная. Формы с пенобетонной смесью подвергаются вибрации.

Молотая негашеная известь в присутствии воды начинает гаситься – это известно каждому школьнику. Но гашение извести начинается не сразу, а спустя некоторое время – от 5–8 до 40 минут и более (в соответствии с этим параметром она так и делится: на быстро гасящуюся, средне гасящуюся и медленно гасящуюся). Кроме того, присутствующие в смеси ПАВ (пенообразователь, пластификатор, консервант, смывка консерванта) сильно замедляют гашение извести – всегда есть некоторое время, чтобы до начала ее гашения безбоязненно разлить пенобетонную смесь по формам, да еще и на перекур сходить.

При вибрации начинаются очень интересные процессы. Под ее воздействием алюминиевая пудра быстро, практически мгновенно вступает в реакцию с известью в щелочной среде. При этом образующийся алюминат кальция (сам по себе мощный ускоритель схватывания цемента) связывает часть свободной воды из пенобетонной матрицы в кристаллогидрат, выделяется водород и тепло. Водород насыщает пенобетонную смесь порами более крупной размерности (о двумодальной пористости смотри ранее вышедшие рассылки). Вибрация способствует тому, что пенобетонная смесь обретает жидкотекучие свойства, и эти пузырьки равномерно распределяются в массиве – смесь вспухает и буквально на глазах поднимается. Выделившееся тепло от реакции извести с алюминиевой пудрой вкупе с активным вибровоздействием провоцирует начало бурного гашения извести – она, что называется, «слетает с катушек». В процессе этого гашения в течение нескольких секунд часть воды необратимо уходит в гидроокиси кальция. При всем при том происходит бурное, лавинообразное повышение температуры всего пенобетонного массива. Его уже ничем не остановить, и оно будет продолжаться, пока не исчерпаются все запасы реакционно-способной извести. (Крайний случай – «Бабах!» – и свои формы вы собираете на крыше ближайшей пятиэтажки...)

Через 2–3 минуты вибровоздействие снимается (вибратор выключают).

Но и это еще не все. Под воздействием высокой температуры, доходящей до $+100^{\circ}\text{C}$, происходит внутреннее самоуплотнение пенобетона – часть воды отсасывается заполнителем (после остывания она вернется назад и будет подстраховывать от обезвоживания). В результате всех этих процессов В/Ц системы резко снижается, почти до теоретического минимума. Под воздействием столь низкого В/Ц, высокой температуры и в присутствии ускорителей такой пенобетон очень быстро, в течение нескольких минут схватывается и набирает настолько высокую прочность, что становится возможна его распалубка без ущерба для эксплуатационных и прочностных характеристик.

Если брать во внимание не только кинетику, но и марочную 28-суточную прочность, а также оптимизацию гранулометрии заполнителей вкупе с минимизацией

издержек, вполне оправданным следует считать введение в систему еще и ультра-мелкого заполнителя, обладающего гидравлической активностью, в котором много свободной окиси кальция – молотые доменные шлаки или зола-унос. В таком случае выстраивается весьма стройный технологический процесс, способный коренным образом изменить существующую технологию, унаследованную нами еще с 20-х годов прошлого века. Имя ей – термоактивированный вибровспученный пеногазозобетон.

Все вышеприведенное и стало причиной моего сообщения на форуме **www.ibeton.ru** о том, что распалубка пенобетона вполне возможна через 15 минут после разливки по формам, при незначительном усложнении технологического регламента производства. Не имея возможности ответить всем по e-mail на последовавший почтовый обвал, я ответил в форме цикла статей в формате рассылки «Все о пенобетоне».

Остановить технический прогресс не то что сложно – невозможно. Даже в такой консервативной отрасли, как производство строительных материалов. Будущее за теми, кто вовремя осознает это.

6.9.5.2 Обсуждение темы «Распалубка за 15 минут» в Интернете

Lar

Здравствуйте, господа и дамы! Сейчас на сайте идет реклама журнала, и в нем статья о распалубке за 15 минут. Мне бы очень хотелось узнать, насколько увеличится себестоимость куба пенобетона при этой технологии? Насколько я понимаю, речь идет о двумодальной пористости, то есть о пеногазобетоне. Если это так, то необходима будет какая то виброформа, обязательное использование ускорителя, пластификатора и алюминиевой пудры. И еще один нюанс. Не потеряет ли пенобетон одно из своих качеств – влагостойкость? Ведь будет уже не закрытая, а открытая структура пор.

Кстати говоря, где можно приобрести алюминиевую пудру для газобетона?

Алексей

Здравствуйте!

Себестоимость продукции не увеличивается.

Ускорители, пластификаторы – ОБЯЗАТЕЛЬНО. Дополнительно необходима предварительная гидратация цемента. Особое внимание – к конструкции формы. В первую очередь она должна быть закрытой и очень жесткой, так как во время вибрации, если борта хлипкие (4 мм и менее), происходит прорыв пазырьков по стенкам формы.

Затраты на дополнительную электроэнергию и химию окупаются прежде всего соотношением заполнителя и вяжущего – 1:1, 0,75:1 (сразу оговорюсь: мы

производим конструкционно-теплоизоляционный пенобетон Д600 только для перегородок). Марочной прочностью и полным отсутствием таких «болячек», как оседание в процессе производства, усадка и образование трещин.

Что касается 15-минутной распалубки, то это реально. Только давайте правильно акцентировать внимание: 15 минутная распалубка предполагает открытие бортов и извлечение перегородок. В дальнейшем блок должен выстояться под «колпаком» не менее 40–60 минут. При использовании специального захвата для блока взять-то его можно, но он еще сырой. Лучше оставить его в форме на час.

Мы используем первый вариант. При этом дно у формы съемное. За счет этого – большой оборот форм.

Что Вы понимаете под открытой и закрытой структурой пор?

С уважением, Алексей Сердюк. ООО НПО «Инстрой», Мариуполь.

Сергей Ружинский

Немного «расшифрую» Алексея в его замечании, что после распалубки блоки нужно выдержать «под колпаком».

По указанной технологии пенобетон достаточно сильно саморазогревается под воздействием ускоренной гидратации цемента и тепловыделения за счет химических реакций от ускорителя. Это, собственно, и служит первопричиной столь быстрого набора прочности.

Кинетика и механизм этого разогрева достаточно подробно рассмотрены и будут приведены в журнале, вплоть до теххимических формул – это чтобы пользователи на местах понимали всю картину происходящего и умели ею управлять.

Но после саморазогрева, вызывающего быстрый набор прочности, неизбежно следует охлаждение.

Если его проводить в слишком форсированном режиме, то могут возникнуть температурные неоднородности в теле пенобетона, а следовательно, и появление внутренних микродефектов, снижающих прочность: наружные слои будут охлаждаться быстрее, чем сердцевина. Поэтому после распалубки блоки нужно подвергнуть термостатированию, например, закрыть каким-либо колпаком – любым доступным способом не допустить их быстрого охлаждения на воздухе.

Что же касается пластификаторов и ускорителей и их влияния на себестоимость пенобетона, то Вы даже не представляете, насколько это распространенные и сравнительно недорогие вещества. Тот же пластификатор обойдется примерно в 1 доллар на тонну цемента. Ускорители выйдут подороже – до 10 долларов на тонну цемента.

Вы спросите, почему их не применяют повсеместно? А Бог его знает. ..

С уважением, Сергей Ружинский

Lar

Спасибо за разъяснения, теперь мне и журнал не нужен :-)

Только еще один вопрос: NaCl в качестве ускорителя и С-3 в качестве пластификатора подойдут?

И что дает негашеная известь?

С уважением, Олег

Алексей

Здравствуйте!

Лучше хлористый кальций. Что касается СЗ, то это зависит от того, как Вы будете поризовывать смесь мелкодисперсным пузырьком. Если так, как предлагает С.Ружинский в рассылке, то да. Если генерировать отдельно мелкодисперсную пену, то нет. Пластификатор СЗ – по крайней мере, с клееканифольным и ТЭАС пеноконцентратом – не «дружит», он моментально разрушает ячеистую структуру.

С уважением, Алексей Сердюк. ООО НПО «Инстрой», Мариуполь.

Сергей Ружинский

Все пластификаторы – это тоже поверхностно активные вещества.

При совместном введении вполне вероятно, что в смеси из нескольких ПАВ (пенообразователь + пластификатор) одно из веществ «сильнее» по изменению поверхностного натяжения. А раз так, то оно будет выступать в качестве пеногасителя (это грубое объяснение).

Поэтому совместное введение пенообразователя и пластификатора (либо введение пластификатора в рабочий раствор для пенообразования) может привести к гашению пены, со всеми вытекающими последствиями.

Частичное решение – пластификатор вводить отдельно и до момента введения пены, чтобы он успел адсорбироваться на зернах цемента, ну, скажем, еще на стадии механохимии.

Оптимальное решение – подбор пластификатора и пенообразователя для совместной работы и минимизация эффекта пеногашения.

to Алексей

Те Ваши наметки по пластификатору вполне могут вывести Вас на оптимальное решение. Особенно если использовать комбинацию из двух или более пластификаторов 2 класса – не просто концентрацию поднимать, а сыграть на их аддитивности.

to Алексей и Сергей

А почему бы Вам не изложить все Ваши пережитки внедрения этой технологии на бумаге? В форме статьи для журнала. Я знаю, там было много

проблем, много набитых шишек и бессонных ночей по переводу технологии в производственных условиях.

Считайте это официальным предложением :)

С уважением, Сергей Ружинский

Сергей Ружинский

to Lar

Ну вот видите, Вы еще не знаете, зачем там нужна извесь, а хотите вот так сразу от журнала отказаться :)

Хотя главная фишка там в другом:

«6.9.5.1 Некоторые методологические замечания к вопросу предварительного разогрева бетонов.

В начале 30-х годов профессор Иван Андреевич Кириенко провел очень интересные исследования. И хотя он специализировался на методологии ведения бетонных работ на морозе, вопросу предварительного разогрева бетона уделил самое пристальное внимание, так как это один из способов ведения работ в условиях холода.

Замечательные исследования. Дотошные, скрупулезные, убедительные, парадоксальные в выводах... и забытые.

По поводу именно этих исследований корифей мирового «зимнего» бетонирования, Сергей Андреевич Миронов, уже в наше время сказал буквально следующее: «К сожалению, указанные выше отправные положения технологии бетона о влиянии температурного фактора на консистенцию бетонных смесей и прочность бетона, разработанные еще в 30-е годы многими учеными, в настоящее время при разработке новых технологических приемов повышения температуры бетонных смесей до укладки порой остаются без внимания. Это приводит, как правило, к серьезным заблуждениям ряда исследователей, оценивающих преимущества того или иного способа предварительного разогрева бетонных смесей».

Осмелюсь озвучить отдельные положения его исследований, тем более что они самым неожиданным образом перекликаются с темой ускорения времени распалубки и прочности пенобетонов».

Далее идут много-много разных таблиц и графиков, которые в форуме искизятся, – в журнале лучше видно будет :)

С уважением, Сергей Ружинский

Lar

От журнала я, скорее всего, откажусь по другим причинам.

У нас в Калининграде хлористый кальций стоит 16 руб за кг (опт).

При норме в 2% от цемента (400 кг) получается: 8 кг – 128 руб. То есть, стоимость блока повышается на 4.5 руб. Дальше, стоимость С-3 – 30 руб/кг, а другого

я пока найти не могу. Ну и последнее: алюминиевую пасту я тоже пока не нашел. Следовательно, эта технология пока неприемлема.

С уважением, Олег

Алексей

to Lar

Олег, зачем Вам столько цемента?

Не поленитесь, посмотрите <http://www.ibeton.ru/gost/CH-277-80.php>, там есть методика расчета составов пено-, газо- и прочего ячеистого бетона.

1 м³ вибровспученного газобетона Д600 В2,5:

цемент – 310 кг;

зола – 200 кг;

известь – 31 кг.

2% хлористого это не норма, а максимальная рекомендуемая дозировка. Кто сказал, что его необходимо 2%?

Что касается СЗ – цена хорошая. Мы покупаем по 6,50 гривен (36 руб).

Не ищите алюминиевую пасту, она Вам не нужна.

Возьмите алюминиевую пудру ПАК-1 или ПАК-2 (мы даже работаем на ПАК-3 с соответствующей корректировкой на активный алюминий) и 2% раствор любого пеноконцентрата, смешивайте и вводите в виде суспензии.

P.S. Сегодня получили результаты испытаний на сжатие образцов рабочих составов 7,07х7,07х7,07, влажность 10% Д600 В3,5. Вот и думайте, зачем нужна технология вибровспученного газозолопенобетона НЕ АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ.

С уважением, Алексей Сердюк ООО НПО «Инстрой», г. Мариуполь

Сергей Ружинский

«...Возьмите алюминиевую пудру ПАК-1 или ПАК-2 (мы даже работаем на ПАК-3 с соответствующей корректировкой на активный алюминий) и 2% раствор любого пеноконцентрата, смешивайте и вводите в виде суспензии...»

Алюминиевая пудра, в зависимости от возрастания номера, обладает более тонкой тониной (уж простите за тавтологию), а это главное для равномерности газообразования. Т.е. ПАК-2 лучше чем Пак-1, соответственно, ПАК-3 – «Спартак – чемпион».

Алюминиевая пудра из-за своей тонкости помола способна очень активно взаимодействовать с кислородом воздуха. Поэтому еще на стадии производства ее защищают парафином или синтетическими жирными кислотами. Для того чтобы управлять процессом газообразования, можно использовать два пути:

1. Для замедления газообразования пудру использовать в первозданном виде. Будучи введенной в состав пенобетона, защитная оболочка в щелочной среде будет некоторое время омыляться и только после перехода защитного покрытия в водорастворимую форму смоеется. Алюминий, собственно, и прореагирует в щелочной среде с выделением водорода – обеспечит поризацию по высшей модальности.

2. Для ускорения газообразования следует убрать защитную оболочку – прокалить или промыть пудру в растворе любого ПАВ, да хоть того же самого пенообразователя.

Алексей

to Сергей

Я ошибся. Конечно, чем большее число, тем пудра мельче.

Сорри.

С уважением, Алексей Сердюк. ООО НПО «Инстрой», г. Мариуполь

Lar

Алексей, эту инструкцию я наизусть уже знаю. Но дело в том что на песке, даже мытом и обработанным HCl, такого класса прочности не получишь, а у нас в регионе золы-уноса, хоть плачь, нет. Все работает или на газу, или на мазуте. Вот и приходится поднимать плотность. И по извести. Экономить на цементе за счет извести тоже не получается, кг цемента ПЦ500-Д0 стоит 1,9 руб, а кг извести – 2,3 руб, все же привозное. И последнее, весной был запущен завод по производству газосиликатных блоков, но их стоимость выше привозных белорусских или польских и составляет 64 руб за блок 600x300x200. Белорусский – 56, польский – 58. Поэтому я не могу поднимать стоимость своей продукции выше 52 руб, а это сильно ограничивает возможности усложнения технологии. Если бы по Вашей технологии можно было реально добиться оборачиваемости форм за 15 мин, был бы смысл поэкспериментировать, но у Вас, я так понял, реальная оборачиваемость порядка 1–1,5 часа. Я распалубливаю через 3 часа, но стоимость форм ниже (металл-3, усиление уголками). Без вибрации они прекрасный результат дают, а на вибрацию уже не подойдут. И самое последнее. Основной акцент мы делаем на заливки на местах, а это не требует такой быстрой распалубки.

С уважением, Олег Сухов ООО «Стройблок», г. Калининград

Lar

Вопрос к Сергею.

Хотелось бы узнать Ваше мнение. Сейчас мы делаем смеситель на 1.5 куба, горизонтальный, принудительного типа. По аналогии с цепным смесителем, я хочу поставить в него лопатки с высверленными отверстиями и заставить его работать

в 2-х режимах: 600 оборотов/мин и 80 оборотов/мин. Как Вы думаете, будет ли он работать в 1 режиме как активатор цемента? Технически все это сделать очень просто, но стоит ли огород городить?

С уважением, Олег.

Сергей Ружинский

Такой вариант смесителя/активатора реализован в оборудовании родоначальника баротехнологии (во всяком случае, так везде утверждается) Удачкина.

И на описаниях его оборудования так прямо и пишется – смеситель-механоактиватор.

В той или иной степени успешно эту его идею реализовали и последователи – идея была клонирована множеством фирм, и внешне похожих образцов оборудования развелось превеликое множество.

А вот популярность той или иной модели у потребителя (читай, способность производить действительно качественный пенобетон) всецело зависит от того, насколько производитель разобрался в сути идеи и в какой степени конструктивные особенности смесителя позволяют реализовать именно идею механоактивации цемента.

Удачкин решил пожертвовать эффективностью механоактивации в пользу универсальности, но все равно получил хорошие результаты. В его устройстве перемешивание производит быстро вращающаяся крыльчатка, а собственно предварительная глубокая гидратация цемента осуществляется под воздействием механических соударений пенобетонной массы со стенками и с крыльчаткой.

По такой схеме (и по схеме цепного активатора, приводимого как образец в рассылке, кстати) очень большая доля энергии тратится впустую – на перемешивание перемешанного. Поэтому для повышения эффективности именно механоактивирования нужно или вводить механоактиватор в качестве самостоятельного элемента, или производить перемешивание с активированием принципиально новым агрегатом, где механоактивация поставлена в голову угла – в вибромельнице, например.

Именно по пути использования вибромельниц в производстве пенобетона и пошло отечественное индустриальное производство в свое время. Но вибромельницы – это уже достаточно крупное производство, неподъемное для мелкого бизнеса. Так родилась баротехнология – хоть кусочек, но отщипнуть от механохимии.

В Вашем же случае, Lag, идея подкупающе красивая, но я сомневаюсь, что ее возможно будет реализовать технически.

Пенобетонная масса достаточно вязкая. В момент запуска усилие будет настолько большим, что потребует серьезного усложнения привода и очень мощного двигателя. (В цепном активаторе – цепи, в момент запуска они просто еще не распрямились, поэтому и не создают большого сопротивления.)

Споткнувшись на приводе, Вы начнете уменьшать лопасти и последовательно придете куда? – к обычному баросмесителю.

С уважением, Сергей Ружинский

Lar

Спасибо, Сергей, по проводу привода проблем нет, я сомневался только в том, будет ли горизонтальный смеситель активировать, как вертикальный.

С уважением, Олег

Владислав

Алексей!

А нельзя ли обработать вибратором смесь до ее укладки в формы?

Не могли бы Вы прислать эскиз, пояснения по работе Вашего оборудования?

И вот еще проблема. Я работаю в Подмоскowie на оборудовании Удачкина, но параметров прочности, заявленных изготовителем, достигнуть не могу, вынужден пользоваться С-3 постоянно. Песок беру речной, промытый. Попробовать обработать HCl ? Или вся хитрость в применении золы-уноса?

Пробовал я и микрокремнезем – впечатляющего эффекта не получил.

С уважением, Владислав

Владислав

Сергей! А как Вы добились 3-часовой выдержки?

Я применяю CaCl 1 %, С-3 0,5 % и не могу снять опалубку через 6 часов, не повреждая блоков. Ждем целую ночь.

И прочность D600 получаю лишь B1, выше не могу.

Работаю на оборудовании Удачкина.

С уважением, Владислав. Серпухов, Московской обл.

Lar

Я так понял, что вопрос не к Сергею, а ко мне. Мы производим блоки 600х300х200 плотностью 800. Предварительная гидратация цемента, температура воды 25 градусов, подбор гранулометрии песка (покупается песок различного Мкр, промывается, смешивается и обрабатывается HCl). Формы закрытые и утепленные. Ускоритель 2 %, пластификатор не использую. Работаем на своем оборудовании (смеситель горизонтального типа с лопатками и пеногенератор). Соотношение вода/пенообразователь – 0,5 % (на 100 л воды 500 г пенообразователя Ареком). В настоящее время проводятся эксперименты с белковыми ПО Пионер 402 и Пионер-128М.

Всем, кто использует песок, даже мытый. Не стесняйтесь, промывайте еще и сами, многие вопросы и проблемы, связанные с прочностью, отпадут. И еще один совет: внимательно читайте рассылку Сергея Ружинского – там есть ответы практически на все вопросы, а также инструкцию по изготовлению ячеистых бетонов <http://www.ibeton.ru/gost/CH-277-80.php>

С уважением, Олег

Валерий

Олег!

Что у Вас получается с Пионером? Какой цемент используете? У меня с ПБ-2000 результаты никакие. Пробовал литовский цемент, так блоки получаются рыхлые и свободно пальцем протыкаются.

С уважением, Валерий.

Астафьев Алексей

Сергею Ружинскому.

В последней рассылке Вы пишете: «Вывод: чтобы пенобетонная масса не оседала, нужно ее греть. Желательно сразу же после заливки в формы. И обязательно греть посильней».

А как Вы смотрите на то, чтобы греть не после, а до заливки, то есть нагревать составляющие и воду. Воду проще нагреть сразу, чем в составе пенобетона. И теплая-горячая (50–70 °) вода даст значительное ускорение гидротации цемента и его саморазогрева, особенно на золе-уносе.

Вопрос только в том, как поведет себя пенообразователь при таких температурах, и можете ли Вы предположить, какие пенообразователи как себя поведут?

Lar

С Пионером я пока не готов давать ответ, но, по предварительным испытаниям, не хуже, чем с Арекомом (при плотности 700 прочность на третьи сутки 17 кг/см²). Цемент литовский – туфта. Перепробовали весь в Калининграде, реальные результаты только на Старооскольском или Белгородском ПЦ-500Д0. Судя по провайдеру, Вы где-то рядом находитесь. Если тоже в Калининграде, то звоните +79052400939, есть кое какие предложения для местных производителей пенобетона в плане удешевления себестоимости.

Евгений Крончев

Подскажите, стоит ли мне экспериментировать по теме «Распалубка за 15 минут»:

1. СДО+известковое молоко – пенообразователь;
2. цемент ПЦ-400Д20 (Новоульяновский, г. Ульяновск) – 200–250 кг/м³;
3. гипс 2–3 % (вместо песка);
4. 1–2 % хлористый кальций;
5. алюминиевая пудра + негашеная известь.

Пена подается в растворомешалку и все перемешивается на 70–80 об./мин.

Может, дополнительные технологические действия (предварительная гидратация цемента, механоактивация и т.д.) можно опустить?

Меня тоже интересует теория обработки смеси вибратором до ее укладки в формы.

Татьяна

Уважаемые Алексей и Олег!

Пожалуйста, разъясните, что значит: «формы закрытые и утепленные»? Возможно ли получить эскиз?

Получаемые перегородки формуются и далее режутся? Размер массива? Или перегородки формуются с применением вкладышей в форму?

Сообщите, пожалуйста, примерный температурный режим в массиве. Например: максимальный перепад температур от 70° в центре массива до 30° по краю, а также время резки массива (если режете).

Спрашиваю в связи с получением брака: трещины по контуру массива (1,4х1-2х0,6 м) после распалубки. Перепады температур в массиве – от 70° до 30°, время резки массива – до 30 мин, плотность пенобетона в сухом состоянии – 700–750.

Заранее благодарна, Татьяна, *snegnor@mail.ru*

Алексей

1. Наши формы имеют крышку. После вибрирования закрываются полистирольным колпаком толщиной 50 мм.

2. Формы кассетные, на 12 блоков.

Что касается температуры по сечению блока, могу сказать следующее. Температуру измеряли в центре блока, расположенного в середине формы. Температура в центре – 85° на поверхности – 45–50°.

С уважением, Алексей Сердюк. ООО НПО «Инстрой» г. Мариуполь

Татьяна

Алексей, спасибо за оперативность!

У меня еще вопрос:

В инструкции СН 277 есть ссылка на «Инструкцию по изготовлению изделий из ячеистого автоклавного бетона по комплексной вибрационной технологии». Где

ее можно прочесть? Есть ли там описание вибрирования газопенобетонной массы или аналогичное? Или этот механизм совершенно другое?

Если возможно, Олег Lag, какой модуль крупности применяемого Вами песка?
С уважением, Татьяна

Алексей

Просматривал перечень СН по строительной тематике и ничего подобного там не встретил.

Было бы интересно посмотреть эту инструкцию.

Сергей Ружинский

Начало применению вибрационных воздействий в технологии ячеистых бетонов было положено исследованиями Горяйнова, Давидсона, Куприянова. Начало работ датируется 1957 годом – во всяком случае именно в этом году было получено первое а.с № 109742 по данной теме.

В дальнейшем данное направление было развито последователями, что и нашло отражение в их трудах.

1. Левин С. Н., Меркин А. П. Новая технология изготовления конструкций и деталей из газосиликата. «Промышленность строительных материалов Москвы» № 10, 1961 г.
2. Куннос Г. Я., Лиденберг Б. Я. Вибрационный способ приготовления газобетонной смеси. Рига, 1962 г.
3. Ребиндер П. А. Физико-химическая механика. Серия IV, №№ 39, 40. 1958 г.
4. Михайлов Н. В. Физико-химическая теория бетона и основные положения новой технологии бетона и железобетона. 1958 г.
5. Левин С. Н., Амханицкий Г. Я., Эршлер Э. Я., Меркин А. П. Вопросы технологии производства газосиликата для полносборного домостроения. «Сборник трудов НИИ железобетона», выпуск 6, 1961 г.
6. Давидсон М. Г., Горяйнов К. Э., Григорьев Е. Г. Вибрированный газобетон. Бюллетень технической информации Главмосстроя.
7. Десов А. Е. Вибрированный бетон. 1956 г.
8. Хигерович М. И., Пратусевич З. М., Меркин А. П. Изготовление ячеистых бетонов методом вибровспучивания. 1961 г.
9. Левин С. Н., Меркин А. П. Производство изделий из ячеистого силикатного бетона методом вибровспучивания. 1960 г.
10. Хигерович М. И., Логгинов Г. И., Меркин А. П., Филин А. И. Вибровспученный газобетон. Изготовление, макроструктура и технические свойства. 1962 г.
11. Хигерович М. И., Меркин А. П. Интенсификация изготовления ячеистых бетонов путем применения вибровспучивания. 1961 г.
12. Хигерович М. И., Меркин А. П., Левин С. Н. Изготовление силикатных газобетонных изделий методом вибровспучивания. «Строительные материалы» № 9, 1961 г.
13. Амханицкий Г. Я., Левин С. Н., Меркин А. П. Вибрационные воздействия в технологии газобетонов и газосиликатов. «Строительные материалы» № 4, 1972 г.

Очень интересен сравнительный анализ ячеистых бетонов, полученных разными способами [13].

Так, для газосиликата плотности 600 и $V/T = 0,47$ по обычной технологии удалось получить прочность на сжатие $R_{сж} = 38 \text{ кг/см}^2$;

то же, но с применением виброперемешивания, $V/T = 0,46$, $R_{сж} = 31 \text{ кг/см}^2$;

то же, но с применением вибровспучивания, $V/T = 0,39$, $R_{сж} = 49 \text{ кг/см}^2$;

то же, но с применением виброперемешивания + вибровспучивания, $V/T = 0,38$, $R_{сж} = 51 \text{ кг/см}^2$.

Аналогично, для газобетонов плотности 600 и $V/T = 0,42$ по обычной технологии достижимо $R_{сж} = 39 \text{ кг/см}^2$;

то же, но с применением виброперемешивания, $V/T = 0,40$, $R_{сж} = 44 \text{ кг/см}^2$;

то же, но с применением вибровспучивания, $V/T = 0,35$, $R_{сж} = 49 \text{ кг/см}^2$;

то же, но с применением виброперемешивания + вибровспучивания, $V/T = 0,33$, $R_{сж} = 58 \text{ кг/см}^2$.

Из приведенных данных видно, что по сравнению с обычной технологией газобетонов и газосиликатов вибровспучивание позволяет снизить водо-твердое соотношение примерно на 18 % (не путать с водо-цементным соотношением!). В то время как предварительное виброперемешивание с последующим традиционным вспучиванием позволяет снизить V/T лишь на 2–7 %.

Совместное же применение вибрационных воздействий на стадиях и перемешивания, и вспучивания позволяет снизить V/T на 22–23 %, а кроме того, существенно повысить прочность (до 60 %).

В настоящий момент вибрационные технологии в производстве ячеистых бетонов или забыты, или являются ноу-хау отдельных производителей высококачественных ячеистых бетонов.

С уважением, Сергей Ружинский.

ЗАК

Лар и Алексей,

как вы производите предварительную гидратацию цемента?

Алексей, есть ли у Вас раскладка по сырьевым компонентам, чтобы можно было просчитать себестоимость по сырью в каждом регионе?

Если Вы получаете у Д600 прочность 35 кг/см², то, насколько я понимаю, можете использовать свои блоки в несущих стенах?

Алексей

ЗАК, Вы настоящий шпион :)

При производстве пенозологазобетона 75 % себестоимости по материалам «съедает» цемент. На 1 м³ пенозологазобетона плотностью 600 кг/м³ расходуется 312 кг цемента ПЦ I-500 (цена 1 т – \$4). Считайте.

С уважением, Алексей Сердюк. ООО НПО «Инстрой», г. Мариуполь

Татьяна

Вопрос к Сергею Ружинскому

1.Очень подкупает Ваша фраза: «незначительное изменение» технологии перехода от пенобетона к вибровспученному пеногазобетону.

Кроме дополнительных добавок еще вводится стадия вибрирования. Чем она может осуществляться, вибростолом?

2.Вы пишете о виброперемешивании и вибровспучивании и о виброперемешивании + вибровспучивании.

Вибрирование на 5 стадии по Вашей (№ 26) рассылке это только вибровспучивание?

Алексей, если возможно, подскажите, какое Вы используете оборудование для вибровспучивания?

Спасибо.

С уважением, Татьяна

Алексей

to Татьяна

Для вибрирования мы используем вибростолы собственной разработки.

С уважением, Алексей Сердюк. ООО НПО «Инстрой» г. Мариуполь

Сергей Ружинский

to Татьяна

1. Да, вибростол или что-то самодельное типа того.

2. Вибрирование на 5 стадии, как Вы говорите, – это действительно только вибровспучивание. Т.е. вибровоздействие используется только на стадии поризации, и только.

Но вибровоздействие можно и нужно использовать и для более полной гомогенизации смеси с одновременным ее активированием.

В новом цикле рассылок «Специальные цементы» я немножко издаю подхожу к этой теме и более комплексно.

Если кратко, то суть этой технологии в том, что в вибромельнице готовится активированная и мелкопоризованная смесь, которая затем на стадии вибровспучивания поризуется крупными пузырьками в процессе газообразования.

Евгений Крончев

to Сергей Ружинский

Добрый день, Сергей.

Изучили вашу статью в журнале «Популярное бетонирование» на тему распалубки за 15 минут. Все написано интересно. Но, есть одно «но»...

В этом форуме, выше, вы писали:

«далее идет много-много разных таблиц и графиков, которые в форуме iskazatsya, – в журнале лучше видно будет»

К нам не дошли те таблицы и графики :-(

Нас, в частности, интересует примерное описание хода самого процесса :

1. ориентировочная температура смеси на всех этапах;
2. примерное количество вводимых материалов (цемент, вода, какой % раствора HCl, сколько пудры, чем конкретно с нее лучше смыть парафин, какой активности негашеная известь на 1-й и 4-й стадиях отдельно и т.п.).

Заранее спасибо.

С уважением, Евгений Крончев, главный технолог ООО «Элгон», г. Ульяновск

Сергей Ружинский

Я тоже, как и Вы, несколько был озадачен отсутствием в журнале всего цикла «Ускорители» – была опубликована только заключительная часть, из которой невозможно что-либо понять, не ознакомившись с предшествующим повествованием.

Прошу не винить нас строго – это все таки пилотный выпуск. Будем исправляться.

А все таблицы, графики и весь полный объем по теме «Ускорители» находится на этом сайте в разделе «Статьи».

Что касается Ваших вопросов.

1. В теме «Ускорители» даны величины тепловыделения всех основных компонентов, участвующих в процессе. Итоговый результат – схватывание пенобетона приходится еще и замедлять, а не ускорять.

2. В этом Вашем пункте ответов на несколько рассылок :)

Будем последовательно эту тему освещать.

В ближайшее время выйдут в разделе «Наследие», в формате рассылки «Все о пенобетоне», первоисточники: описание технологии вибровспученного газобетона от Хигеровича и Меркина. Там, что называется, ни убавить, ни прибавить. Вплоть до узкой производственной конкретики – куда, чего и сколько.

Затем, на мой взгляд, как только начнутся опыты на местах по практической реализации этой технологии, должен неизбежно всплыть вопрос молотой негашенной извести – где ее брать. Постараюсь упредить рассылкой обвал вопросов.

Думаю, к весне, к началу сезона управиться по этой теме полностью :)

С уважением, Сергей Ружинский

Дмитрий

Устал читать общие фразы, 2 недели пытаюсь получить хоть какую-то конкретную рецептуру, если это уже работает, но все время кормят «завтраками».

Прошу еще раз: дайте, пожалуйста, конкретные рекомендации применительно к тому частному случаю, который так красочно описан в журнале («формы на соседней пятиэтажке»), а теорией можете заниматься до следующей весны. Заранее спасибо.

Татьяна

Еще конкретный вопрос:

1. Как Вы готовите суспензию алюминиевой пудры? Она плохо расходуется. Если сделать порцию на несколько замесов, нет гарантии равномерной подачи.

Как Вы вводите ее в смеситель?

2. В каком соотношении вводится пудра относительно негашеной извести?

С уважением, Татьяна

Татьяна

Вопрос к Алексею:

1. Пожалуйста, сообщите, в каком количестве относительно извести Вы вводите алюминиевую пудру?

2. Поясните, пожалуйста, нормально ли это – введение пудры в процессе образования пены существенно снижает кратность пены?

С уважением, Татьяна

Татьяна

Уважаемый Алексей Сердюк!

Пожалуйста, подскажите расход алюминиевой пудры!

Пробую в лаборатории – получается очень низкая прочность.

Подозреваю разрывы от излишнего (или активного?) газообразования, уменьшаю расход до 0,55 % пудры по весу от последней порции извести. И все же появляются видимые мелкие разрывы бетона.

Возможно, Вы сталкивались с такой ситуацией?

Рязанец

А у меня нет вопросов ни к кому, т.к. все ответы погрязли в непроходимой академичности и фразах высокого полета. Наблюдаю эту картину на протяжении нескольких месяцев.

Всего-то и надо людям: дайте конкретный рецепт смеси!

Чего вы мозги пудрите? Журнал этот тоже купил, он-то и стал последней точкой моего «вскипания».

Предлагаю тем, у кого есть чего сказать конкретного, написать сюда, на форум, и действительно поделиться знаниями. Раз уж тут сказали «А», то и «Б» будьте добры сказать.

Я не собираюсь ни с кем спорить и что-либо чернить, но накопью никуда не денешь. Неужели трудно дать раскладку по составу вибровспученного пеногазозобетона? Или здесь очередная скрытая «Акция»?

Некоторые тут утверждают, что себестоимость не увеличивается – да бред полный!!!

Чем докажете? Или есть алюминий дармовой? Или известь в цене упала?

А ОТВЕТИТЬ- ТО И НЕЧЕМ! НЕТ ЗДЕСЬ НИКАКОЙ КОНКРЕТНОЙ ЦИФРЫ!

Пусть меня считают дилетантом, может, чего и не знаю, но все же на вполне популярном языке, доходчиво и понятно написано в журнале философское мировоззрение на производство ПБ иным методом, но непонятно основной массе читателей – во что обойдется? Какие дозировки? Или хотя бы – какая лучше частота вибрации? А насколько поднимется масса ПБ, и как ее поймать у края формы?

А может быть, это все для подогрева не ПБ, а всех нас, заинтересованных в производстве – пусть, мол, пробуют другие, а мы посмотрим?

А пока готовят следующий журнал, где обещано добавить к ненаписанному...

Если кто купит, поделитесь фактами, если они там будут...

Спасибо.

Сергей Ружинский

Интересные Вы ребята! Вот дай секретный рецептик и мы, мол, все сделаем...

Да никакой это не секретный рецептик. О вибровспучивании в технологии ячеистых бетонов пишут вот уже почти 50 лет. И не какие-то академики, а узкие производственники – где, когда, по какой рецептуре и сколько миллионов кубов было сделано и построено. Какие были особенности и где кто «наступил на грабли».

Вот я сейчас закончил обработку всех журналов «Строительные материалы». Начиная с 1960 г., из всех 540 журналов все интересное, в том числе и абсолютно все, что касается вибровспучивания ячеистых бетонов, было отобрано и отскерено. На это понадобилось 2 месяца работы в научной библиотеке и почти \$300 на ксерокопирование – а Вы думаете, как рассылки делаются?

Спросите, зачем? А затем, что в журнал «Популярное бетоноведение» пошли 3 обобщающих первоисточника по теме, а вся подноготная вибровспучивания, вся методология, тонкости и особенности – это удел рассылки, которую я, собственно, сейчас и делаю по данной теме. В том числе и (я просто ОБЯЗАН это сделать) «прошерстив» всю периодику по данной теме.

Поймите, нет какого-то универсального рецепта. Некой чудодейственной пилюли – чтобы всем было счастье. Но есть научно обоснованная и проверенная многолетней практикой методологическая основа вибровспучивания в технологии

ячеистых бетонов. Если дать именно методологию (можете называть ее «непроходимой академичностью»), то данную технологию смогут скопировать ВСЕ, а если дать голый рецепт, то получится только у тех, кому повезет.

to Александр

А может быть, выложить уже сейчас на сайт те три первоисточника из журнала:

1. Производство изделий из ячеистого силикатного бетона методом вибровспучивания (доклад к семинару по обмену передовым опытом в производстве и применении изделий из силикатобетона).

2. Вибровспученный газобетон (изготовление, макроструктура и технические свойства).

3. Изготовление ячеистых бетонов способом вибровспучивания.

А то ведь не отстанут...

Павел

Все написанное выше очень интересно и познавательно, но у меня возник вопрос: можно ли использовать вибротехнологию в производстве монолитного пенобетона для улучшения его механических характеристик? Я так понимаю, это надо баросмесительную установку поставить на вибростол, но не сломается ли она от вибрации?

Сергей Ружинский

Разумеется, сломается.

И технология вибровспучивания не предполагает подобных крайностей.

Вообще, механические воздействия в технологии ячеистых бетонов следует рассматривать в четырех различных приложениях:

1. Механическое воздействие, направленное на активацию вяжущих (механоактивация и/или получение глубокогидратированных цементных суспензий).

Общеизвестно, что цементный камень набирает прочность во времени. Марочную прочность он набирает примерно за месяц. Еще столько же (а иногда и гораздо больше) набирает за последующие 10–15 лет. Т.е. пенобетон, изготовленный сегодня, через 10 лет будет примерно вдвое прочнее.

Взять сразу, сейчас, ту «дальнюю» прочность можно, если в момент изготовления бетона (пенобетона), значительно интенсифицировать гидратацию (химическое взаимодействие цемента с водой, в результате которого образуются гидратные новообразования – цементный клей).

Каким образом ускорить это химическое взаимодействие? А традиционными для любой химической технологии способами, в том числе и одним из них – бурным перемешиванием. В процессе такого перемешивания гидратные

новообразования «облущиваются», обнажая непрореагировавшие с водой внутренние слои цементного зерна; в итоге количество цементного клея значительно увеличивается.

Примером такого устройства может быть так называемый «цепной активатор» (смотри раздел «Статьи» настоящего сайта).

Кроме того, при определенной энергонапряженности процесса перемешивания уже складываются предпосылки для измельчения зерен цемента, что само по себе способствует его более глубокой гидратации. По достижении определенного предела энергонапряженности такое измельчение уже переходит на качественно новый уровень, когда механическая энергия измельчения трансформируется во внутреннюю потенциальную химическую энергию вещества (механохимическая активация) – это способствует не только увеличению выхода цементного клея, но и повышению его химической активности, благодаря чему он лучше сцепляется с зернами заполнителя. Значит, бетон получается более прочным (или для достижения нужной прочности цемента потребуется меньше, или цемент можно применить менее качественный, или вообще не цемент, а какое-то иное вяжущее, в обычных условиях не способное образовывать прочные соединения – доменные шлаки, например).

Измельчающие аппараты, способные «выйти» на механохимическую активацию – вибромельница, дезинтегратор, планетарная мельница, струйная мельница и различные их конструктивные разновидности.

2. Механическое воздействие, направленное на заполнитель.

Во первых, оно способствует очистке зерен заполнителя от окисных пленок и различного рода загрязнений (глинистые и илистые обмазки природных песков) – это улучшает их склеиваемость цементным клеем.

Во вторых, природные пески, как правило, достаточно крупные для производства пенобетона. В процессе механического воздействия они измельчаются – зерновой состав заполнителя становится более оптимальным для пенобетона (его прочность повышается).

В третьих, в случае применения механоактивирующих устройств, заполнитель также механоактивируется, его способность склеиваться цементным клеем увеличивается.

3. Механическое воздействие, направленное на гомогенизацию смеси вяжущего и заполнителя.

Сметана – это одно, растительное масло – другое. После их тщательной гомогенизации (перемешивания) получается качественно новый продукт – майонез. Это грубый пример, но, надеюсь, суть понятна.

4. Механические воздействия, направленные на регулировку тиксотропных характеристик пено- (ячеисто-, пеноячеисто-) бетонной массы.

Исследова традиционной литьевой технологии для получения ячеистых бетонов потребные реологические характеристики массы обеспечиваются увеличением

в системе количества воды затворения (о негативном влиянии «лишней» воды смотри в разделе «Статьи»), то применение механических (в данном случае – вибрационных) воздействий на массу, за счет псевдооживления удастся и «лишней» воды в систему не вводить, и смесь получить достаточно подвижную, чтобы поризовать ее газообразователем (пудрой).

Этот частный случай применения механических воздействий в технологии ячеистых бетонов называется вибровспучиванием. О нем смотри выше.

Единственное хочется добавить, исходя из обвала почты, приходящей на мой адрес – НИКАКАЯ ЭТО НЕ ЭКЗОТИКА!

Этой технологии сто лет в обед, вернее, первые опыты относятся к 1958 г., а первая СЕРИЙНАЯ продукция – к 1961 г. С начала 70-х – массовое внедрение. С тех пор эту технологию упорно и настойчиво продвигали, популяризировали и МАССОВО применяли.

Вот что было опубликовано только по теоретическом обоснованию данной технологии журналом «Строительные материалы» (пока база статей введена за период 1960–1996 гг., остальное, а также ссылки на материалы, освещающие технологические и практические аспекты данной технологии, формирование ячеистой структуры, рецептурные нюансы будут в рассылке – не буду загромождать форум):

Вибрационные воздействия в технологии ячеистых бетонов.

1. Хигерович М. И., Левин С. И., Меркин А. П. Изготовление силикатных газобетонных изделий методом вибровспучивания. «Строительные материалы» № 9, 1961 г.
2. Левин С. Н., Амханицкий Г. Я., Меркин А. П. Вибрационные воздействия в технологии газобетонов и газосиликатов. «Строительные материалы» № 5, 1963 г.
3. Сорокер В. И., Усыскин М. А. Определение целесообразности степени уплотнения жестких силикатобетонных смесей. «Строительные материалы» № 12, 1964 г.
4. Сарапин И. Г., Кондратьев М. И. Назначение продолжительности виброуплотнения керамзитобетонной смеси при формировании изделий. «Строительные материалы» № 4, 1965 г.
5. Ефименко А. З. Исследование прочности и упругих свойств виброгазобетона с помощью ультразвуковых методов. «Строительные материалы» № 6, 1966 г.
6. Караваева Н. М., Рудаков В. М. Регулирование процесса вибровспучивания газосиликата. «Строительные материалы» № 12, 1968 г.
7. Сарапин И. Г., Кондратьев М. И. Влияние способа уплотнения на прочность керамзитобетона. «Строительные материалы» № 12, 1968 г.
8. Хигерович М. И., Меркин А. П., Набоков А. Б., Сахаров Г. П., Матросович А. Н. Формование гипсовых и гипсобетонных изделий из горячих смесей. «Строительные материалы» № 12, 1968 г.
9. Куннос Г. Я., Лапса В. Х. Оптимизации вибровспучивания газобетона. «Строительные материалы» № 5, 1969 г.
10. Горлов Ю. П., Седунов Б. У. Получение пенобетона методом совмещенного помола и воздуховлечения в вибромельнице. «Строительные материалы» № 7, 1969 г.
11. Моргулис М. Л., Петров К. Г. Эффективность объемного вибрационного перемешивания. «Строительные материалы» № 1, 1970 г.

12. Горяйнов К. Э. Новые пути интенсификации производства изделий из ячеистых автоклавных бетонов. «Строительные материалы» № 2, 1970 г.
13. Горяйнов К. Э., Кирпиченко С. Г., Волкович Л. С., Гришко Н. М. Виброформование ячеистобетонных смесей с применением инфразвуковых колебаний. «Строительные материалы» № 5, 1972 г.
14. Лапардин В. Н., Поспелов В. П., Гришко Н. М. К вопросу управления виброформованием ячеистых смесей. «Строительные материалы» № 7, 1972 г.
15. Амханицкий Г. Я., Левин С. Н., Есипович И. М. Виброперемешивание высоковязких ячеистых смесей. «Строительные материалы» № 10, 1972 г.
16. Прохоров Г. Н., Шутило Л. И. Резонансные колебания ячеистобетонной смеси на различных виброплощадках. «Строительные материалы» № 4, 1973 г.
17. Кржеминский С. А., Крыжановский Б. Б., Бушуева Э. И. Физико-механические свойства вибрированного газшлакосиликата. «Строительные материалы» № 7, 1973 г.
18. Воробьев Х. С., Крыжановский Б. Б., Прохоров Г. Н., Шутило Л. И., Коковин О. А. Ячеистобетонные изделия, получаемые виброформованием массивов высотой 1500 мм. «Строительные материалы» № 10, 1973 г.
19. Прохоров Г. Н. Ориентирующее действие вибрации и анизотропия прочности бетонов. «Строительные материалы» № 10, 1974 г.
20. Бакуров Н. П., Рудаков В. М., Киреев Ю. Н., Никитин А. А. Исследование кинетики вязкостипри виброформовании изделий из ячеистобетонной смеси. «Строительные материалы» № 2, 1975 г.
21. Горяйнов К. Э., Шамов О. В., Лапардин В. Н., Гришко Н. М. Исследование процесса виброформования ячеистого бетона пониженной объемной массы. «Строительные материалы» № 11, 1975 г.
22. Воробьев Х. С., Гофман Г. М. Оптимальное управление процессом виброформования ячеистобетонных изделий. «Строительные материалы» № 9, 1979 г.
23. Воробьев Х. С., Гофман Г. М. Регулирование скорости вспучивания и размеров газовых пор при производстве изделий из ячеистого бетона. «Строительные материалы» № 3, 1980 г.
24. Штакельберг Д. И., Миронов В. Э., Куннос Г. Я., Хоромецкий В. Г. Влияние повторного вибрирования на свойства газобетона. «Строительные материалы» № 1, 1982 г.
25. Домбровский А. В., Сажнев Н. П., Горяйнов К. Э. Повышение однородности ячеистого бетона при ударном способе формования. «Строительные материалы» № 4, 1982 г.
26. Горяйнов К. Э., Домбровский А. В., Сажнев Н. П., Новаков Ю. Я. Формирование ячеистобетонных массивов высотой до 1,5 м импульсным способом. «Строительные материалы» № 8, 1983 г.
27. Домбровский А. В., Мейнерг Г. О., Сажнев Н. П., Скоряк Л. А., Орун М. Г. Изготовление эффективных ограждающих конструкций из ячеистого бетона по ударной технологии формования. «Строительные материалы» № 1, 1984 г.
28. Аузиньш П. П., Дауксте Р. Е. Исследования характера колебаний металлических форм в процессе формования газобетонных изделий. «Строительные материалы» № 12, 1986 г.
29. Галибина Т. А., Кремерман Т. Б., Мейнарт Г. О., Домбровский А. В., Сажнев Н. П., Новаков Ю. Я. Газобетон ударной технологии и на смешанном вяжущем. «Строительные материалы» № 3, 1990 г.
30. Берман М. А., Гольденберг Л. Г. Интенсификация процессов получения строительных материалов и изделий с помощью управляемого электромагнитного вибропривода. «Строительные материалы» № 11, 1992 г.

С тех пор много воды утекло. Опять же, «проклятые капиталисты» подсутились, сбили с пути истинного с помощью «польских товарищей» (читай, высокотехнологичных заводов, но работающих по старой литейной технологии).

На мой взгляд, технологию ячеистых бетонов ожидает серьезная (и очередная, кстати) пертурбация. От тупого механического смешения пены с раствором в свое время был сделан шаг в сторону большей технологичности процесса – баротехнология.

Следующим шагом, скорее всего, должны стать решения, обыгрывающие механохимические, механоактивирующие и прочие механические воздействия.

Сначала это будет простая вибромельница: засыпали в горловину некачественные вяжущие и дерьмовый песок, плеснули немного пенообразователя из отходов – на выходе получили качественный пенобетон, который за счастье получить нынешними традиционными способами.

Для «продвинутых» – следующий шаг. Уже поризованная и активированная пеномасса из вибромельницы в промежуточном смесителе смешивается с молотой негашеной известью и газообразователем из алюминиевой пудры и разливается в формы. Формы подвергаются вибровоздействию на вибростоле – получаем пеногазобетон с дву模альной пористостью (выжали все возможное при формировании ячеистой структуры – аплодисменты от строительной теплофизики) и прекрасными прочностными характеристиками (взяли все, на что он способен, от вяжущего).

Да плюс ко всему практически мгновенная распалубка форм (помашите ручкой обязательному крановому хозяйству а заодно и немецким Итонгу, Хебелю и Верхану, голландскому Калсилоксу, датскому Селкону, японскому Чори, польскому Униполю – пусть умоются).

Фантастика? Очередной Остап, очередные Нью-Васюки? А обещанное «светлое будущее» и «пертурбация» не что иное как чье-то очередное рукоблудие на «клаве»?

Да помилуйте, эта технология давным-давно была обкатана до уровня массового производства! Просто мы забыли, так я вот и напоминаю...

С уважением, Сергей Ружинский

Павел

Все это, конечно, прекрасно, а кто сделает оборудование и технологический регламент для всей этой красоты, описанной выше? Ну или хотя бы готовый рецепт: что и как делать, чтобы реализовать вышеизложенное на практике? Или у кого все это можно купить, и сколько все это стоит? И чтобы обязательно геометрия блоков была, как на заводах Hebel.

Сергей Ружинский

Прочел на одном форуме пенобетонщиков следующий вопрос:

«Нашел информацию в Интернете о применении вибровоздействия на пенобетон, которое приводит к существенному увеличению прочности (по информации неизвестного Сергея Ружинского – от 12 % и выше). Что вы можете сказать, имеет это возможность практической реализации в монолитном пенобетонировании?»

Ответ производителей пенобетонного оборудования и держателей сайта, на форуме которых был задан этот вопрос:

«Во-первых, вибровоздействие обычно применяют для укладки жестких смесей, к которым пенобетон не относится. Уменьшая количество воды в пенобетоне, мы можем столкнуться с парадоксальной для тяжелых бетонов ситуацией – воды меньше, а прочность не только не увеличилась, но и уменьшилась. Кроме того, если и говорить о получении пенобетона с низким В/Ц, то это, как ни печально, только конструкционные пенобетоны. Чем меньше плотность, тем больше технологических проблем возникнет при уменьшении В/Ц.

Во-вторых, увеличение прочности «на 12 и более процентов» – это фраза из статьи, из «результатов промышленного внедрения». От технолога завода ЖБИ Вы вряд ли услышите такое. Почему? Да потому, что реальный результат, который можно заметить в заводских условиях, – это изменение прочности на 50 % (ну ладно, на 40). Вот представьте себе: Вы делаете пенобетон прочностью 3 МПа, а после вибровоздействия повысили прочность до 3,36 МПа. И что Вам это даст? Вы сможете делать здание большей этажности? Сможете улучшить эксплуатационные характеристики? Даже класс бетона по прочности на сжатие – тоже, кстати, величина косвенная, останется тем же. Если говорить совсем уж приземленно, Вы не сможете продавать пенобетон повышенной прочности по повышенной же цене. Так из-за чего сыр-бор?

В-третьих, реализовать такую технологию для производства монолитного пенобетона вряд ли удастся. Хотя... Но было бы для чего!»

Не утерпел от комментария этого ответа, но сделаю это здесь, поскольку на том форуме за мое «несанкционированное» участие в его работе хозяева оного назвали бы меня «ставленником капитала» и пригрозили сжечь мою писанину на центральной площади Белгорода (спасибо, хоть не морду набить).

Во первых, по поводу вибровоздействия в технологии ячеистых бетонов. Ну не следует все так дословно воспринимать!..

Во вторых, «увеличение прочности на 12 и более процентов» (как бы это ни прискорбно звучало для производителей ныне выпускаемого оборудования для производства пенобетона) вовсе не рекламная фраза. Скажу больше – реальное увеличение прочности намного больше. И это результаты не внедренческих

экспериментирований или диссертационных изысков. Это данные заводских лабораторий по анализу массово выпускаемой продукции. И если кто-то этого не знает, это не его вина, это наша общая беда, обусловленная скудностью информационного сопровождения данной технологии в угоду рекламно-коммерческим акцентам по продвижению своего и только своего оборудования.

Единственно верное то, что многие (если не большинство) заводских технологов действительно не посвящены в это направление развития производства пенобетона. Соответственно, они не смогут оценить его по достоинству и извлечь пользу. Первопричина тому – отсутствие соответствующей профессиональной информации. Надеюсь, мои публикации помогут в этом вопросе, а обширнейшие ссылки на первоисточники помогут поднять целый пласт знаний по данному направлению.

Ссылок на литературные источники, отражающие реальный заводской (не академический) опыт практического использования вибрационных воздействий в технологии ячеистых бетонов, очень и очень много (вплоть до названий заводов и объемов выпущенной таким способом продукции в России, Украине и Беларуси).

Поэтому все они, а также каталог статей, в той или иной степени касающихся производства ячеистых бетонов (пока только из журнала «Строительные материалы»), будет размещен в рассылке «Все о пенобетоне». На сегодняшний день введены и систематизированы статьи за период 1960–1996 гг. – 1200 статей.

Уже первичный библиографический анализ публикаций из «Строительных материалов» показывает, что в строительном материаловедении существовали некие правила – что печатать и популяризировать, а о чем умалчивать. Так, публикации по силикальциту «как обрезало» на рубеже 60-х годов, об органобетонах замолчали примерно после 1965 года. Обвал публикаций по вибрационным воздействиям в технологии ячеистых бетонов исчезли со страниц строительной периодики где-то в начале 90-х. Чем это объяснить, пока не знаю. Нужно думать.

С уважением, Сергей Ружинский

Petr

Неужели можно обойтись одной вибромельницей или все-таки нужны дополнительные доработки?

Сергей Ружинский

Да, одной вибромельницей. Подробности смотри:

Горлов Ю. П., Седунов Б. У. Получение пенобетона методом совмещенного помола и воз-
духововлечения в вибромельнице. «Строительные материалы» № 7, 1969 г.

«В результате по этому методу в лаборатории №... ВНИПИТеплопроект был разработан способ приготовления пеномассы с использованием одного агрегата – вибромельницы М-200 с параметрами получаемого пенобетона:

плотность 250 кг/м³ – прочность на сжатие 8 кг/см²;
плотность 300 кг/м³ – прочность на сжатие 12 кг/см²;
плотность 350 кг/м³ – прочность на сжатие 18 кг/см².

Способ был внедрен для изготовления теплоизоляционных коконов из пенобетона для теплотрасс.

P.S. Обратите внимание на авторов: специалистам они о многом скажут, по крайней мере, Горлов – так точно.

Павел

Я понял предложенную технологию так: есть вибромельница, она измельчает не очень активные (дешевые) вещества, превращая их в активные; эта смесь идет вместо цемента в баросмесительную установку, к ней добавляется пенообразователь и все как обычно...

Или есть какой то суперагрегат типа вибромельницы, в который засыпают все составляющие и получается качественный пенобетон на выходе.

Интересно, будет ли более дорогая стоимость, меньшая надежность и долговечность такой установки перекрываться использованием более дешевого сырья? Или же с экономической точки зрения рациональнее сыпать качественный цемент в надежную и дешевую баросмесительную установку?

И можно ли где-нибудь купить подобное чудо техники, описанное Сергеем Ружинским, и сколько оно будет стоить. Ну или, может, хоть чертежи.

Petr

Интересно, а на обычной шаровой мельнице возможно добиться таких же результатов, как на вибромельнице?

Сергей Ружинский

Сначала пошел (сейчас как раз идет) цикл рассылок «Специальные цементы». Следом будет цикл, посвященный вибровспучиванию.

Дополнит все (и увяжет на уровне оборудования) цикл, посвященный по-мольному и по-мольно-активирующему оборудованию.

«Обсасыванию» рецептурных нюансов в свете всего вышеперечисленного тоже будет посвящен отдельный цикл.

«Подпишись на рассылку и спи спокойно» – само в почтовый ящик свалится.

С уважением, Сергей Ружинский

Татьяна

Вопрос к Сергею Ружинскому.

Вы говорили выше, что ввели в базу библиографию по теме – статьи из «Строительных материалов» с 60-х годов, здесь на сайте я не нашла этого.

Пытаюсь получить их ксерокопии по межбиблиотечному абонементу, уже месяц никаких результатов.

Было бы хорошо читать их здесь – и оперативно, и информативно.

Есть перспективы?

С уважением, Татьяна

Сергей Ружинский

Вы не поверите, Татьяна, как я сам этого хочу – чтобы в конце статьи можно было «кликнуть» на первоисточник и уточнить/прочитать самому/выудить «вкусненькое» и т. д.

Над реализацией данного направления я работаю, но

1. Выкладывать первоисточники в формате *.djvu – перегонять быстрее всего, и формат оптимизирован именно для такого применения, однако теряется наживка для поисковиков. По ряду причин это нежелательно.

2. Перегонять в формат *.doc – очень кропотливый труд. Во-первых, «распознавалки» иногда очень плохо работают, да и все равно за ними потом «подчищать» нужно. Во-вторых, редактируя формулы или таблицы, застрелиться можно. В-третьих, это все-таки тяжелый для Интернета формат – ведь большинство пользователей у нас еще на телефонных модемах сидят.

3. Любая оцифровка – это длительный, нудный и кропотливый труд. Уже хотя бы потому, что сканер, как ни крути, самое медленное устройство. И труд неблагодарный – можно полдня «загонять» одну статью, отпечатанную на ротапринте. А потом плюнуть и за оставшихся полдня набрать ее вручную. Спрашивается, кто этот труд будет оплачивать, ежели подойти к вопросу системно, не ограничиваясь какими-то разовыми работами.

4. Президент Путин огромную свинью подложил в этом вопросе, запретив публичные электронные библиотеки. И хотя это касается в основном художественных произведений, все равно подставлять основной сайт под потенциальный разгром тоже рискованно. А на «зеркало» тоже нужны и деньги, и время, и хостинг.

Вот так. Хотя я планирую в цикле о вибровспучивании немного помочь в доступе к первоисточникам, если буду успевать :)

С уважением, Сергей Ружинский

Дмитрий

Добрый день всем (если он, конечно, добрый, в чем я лично сильно сомневаюсь).

У меня вопрос к специалистам. Все ссылаются на инструкцию СН 277-80. Уверяю вас, я не торможу, просто не догоняю по следующим вопросам.

1. На этой теме идет информация по поводу использования алюминиевой пудры ПАК-1 (см. выше).

В вышеназванной инструкции идет ссылка на соответствующий ГОСТ по пудре, упоминается ПАП и больше ничего! Так что использовать... Первый недогон.

2. Большая просьба к Сергею Ружинскому – просто пояснить, правильно ли я считаю. В Ваших комментариях и объяснениях (сужу по статьям) Вы говорите о предельно допустимых нормах CaCl_2 в 2 % от веса цемента. В другом случае Вы рекомендуете СНІ (2 %) + известь кипелку (10 %) – оптимальная норма. Если цемента, допустим, 300 кг, то CaCl_2 (2 %) – 6 кг, а СНІ (2 %)+кипелка (даже 100 %) – 10 % = 36 кг. В результате (я, конечно, не химик, но допустим) 30 % – вода, но почти 30 кг – CaCl_2 , а это 10 %. Это второй недогон.

3. Пробую СНІ использовать. Результат:

а) Пена полностью садится. Собственно, как и с кипелкой. Это, оказывается, несовместимые вещи! Совершенно разные среды (консультировался у производителей пенообразователя).

б) Лью солянку – блин, у меня в установке скоро будет дырка, сальники потекли, все засифонило!

А вообще-то, не от хорошей жизни я начал пробовать. Прочностные характеристики блоков никакие. В глаза стыдно смотреть заказчикам. Что делать, не знаю. Насколько я понял, без

1. нагрева воды (например, проточный водонагреватель),
2. омагничивания воды (магнит),
3. электроактивации цемента (электростатический активатор),
4. промывки (есть такое оборудование),
5. помола заполнителей и вяжущих (мельница, дезинтегратор),
6. механоактиватора,
7. вибростенда,
8. прогрева, а еще лучше автоклавирования

НИКАКОГО ПЕНОБЕТОНА НЕ ПОЛУЧИШЬ!!!

Жизнь не удалась :(

Сергей Ружинский

to Дмитрий

1.

Пудра Алюминиевая Коллоидная – ПАК

Пудра Алюминиевая Пигментная – ПАП

Разница между ними мне достоверно неизвестна. И то и это – ультрамелкие частички алюминия. И то и это пригодно для изготовления ячеистых бетонов после удаления консерванта – прокаливанием или смывкой в среде ПАВ.

Есть еще пасты алюминиевые – специально для приготовления ячеистого бетона.

2.

а) Я не утверждал, что предельно допустимые нормы CaCl_2 – 2 % от массы цемента. Это просто дозировка, более-менее приемлемая для начальной постановки опыта. С ней нужно начинать и «баловаться» в ту или иную сторону в зависимости от применяемого цемента и прочих особенностей. Много положишь – может схватиться еще в смесителе, да и дорого; мало – эффект будет минимальным. Обычно 2 % хлористого кальция оказывается вполне достаточно. Поэтому от этой цифры обычно и пляшут.

А вообще, дозировки хлористых солей могут доходить до 12–15 % от массы цемента, если их используют в качестве противоморозных.

б) В цикле «Ускорители» были приведены, на мой взгляд, исчерпывающие теххимические расчеты, и в первую очередь для того чтобы показать, что соляная кислота взаимодействует с известью не напрямую а через гидроокись, а образовавшийся хлористый кальций опять вступает с гидроокисью в реакцию с образованием хлорокси (там идут сразу 4 реакции).

Но в тех расчетах ориентация была сделана на тепловыделение.

Хотя по тем же формулам (раздел 6.6.1), используя молярные величины, можно вычислить и количество образующегося хлористого кальция при реакции соляной кислоты с гидроокисями кальция. Только это вряд ли нужно – оптимальные величины были найдены экспериментальным путем.

3.

а) «...пена садится...» – совершенно верно. Вы меняете pH среды, смещаете его в «кислую» сторону. Многие пенообразователи этого не любят категорически. Обычно в таких случаях производители пенообразователя говорят, что их пенообразователь хорош, а Ружинский дурак по определению со своими советами.

Если Вас устраивает кинетика набора прочности пенобетона – не применяйте ускорители. Если не устраивает – активно применяйте, но будьте готовы и к тому, что пенообразователь придется поменять.

Характеристики пенообразования очень зависят от внешних условий. В водопроводной воде мыло пенится а в морской – нет, вот Вам типичный пример. Предложения производителей пенообразователей убедиться в качестве их продукции на опытах в простой воде (иногда еще рекомендуют использовать дистиллированную или смягченную, или кипяченую) – шарлатанство: в смесителе у Вас совершенно иная среда, соответственно, и характер пенообразования будет иной.

Стабильность пены в пенобетоне можно обеспечить 6 различными методами. И каждый из них «работает» с определенной группой ПАВ. Если производитель пенообразователя скрывает вещественную природу и химический состав своего пенообразователя за торговой маркой, следует точно и неукоснительно соблюдать его рекомендации.

Предвосхищаю вопрос: «Какие пенообразователи устойчиво работают в комплексе с кислыми ускорителями и пластификаторами?»

Устойчиво работают белковые, но там тоже есть нюансы по количеству аминокислот. Еще клееканифольный, но застабилизированный не производными коллагена (клей столярный), а натриевыми солями альгиновой кислоты.

б) «...лью солянку...» – позвольте мне воздержаться от комментария этого пункта.

По остальным пунктам – Вы свалили все в кучу. Попробуйте традиционный способ, для начала качественные (и дорогие) ингредиенты приготовьте с неукоснительным соблюдением технологического регламента, предлагаемого производителем оборудования. И увидите – все у Вас получится. А затем на этой базе начинайте модифицировать технологический регламент в нужную сторону.

С уважением, Сергей Ружинский

Рутен

to Дмитрий

Ружинский хорош для чтения его «экзерсисов» на ночь. Для реального производства его советы не всегда подходят. Вы убедитесь в этом, если попытаетесь найти «клееканифольный, но застабилизированный не производными коллагена (клей столярный), а натриевыми солями альгиновой кислоты» пенообразователь, а потом попробуйте выяснить у производителя пенообразователя «нюансы по количеству аминокислот». С учетом того, что «Эльдорадо» перепродает курский белковый пенообразователь, то они точно не владеют «нюансами» его состава.

Чтобы чай был вкуснее – сыпьте больше заварки, чтобы бетон был прочнее – сыпьте больше цемента.

Александр Портик, Site Admin

Рутен, для информации: мы не перепродаем курские пенообразователи и не имеем с ними ничего общего.

Сергей Ружинский

to Рутен

Если чего не знаете – не говорите.

Вы ведь, похоже, понятия не имеете, что это такое – «соли альгиновой кислоты». Кстати, эти составы производят и продают уже лет 70, только вот в Интернете об этом не пишут.

А что касается белковых пенообразователей и остаточных аминокислот, так проверяется это легко – добавили ускоритель и посмотрели.

А в Курске и еще в нескольких близлежащих городах, насколько мне известно, весьма плодотворно поработали казахские коллоидные химики. А Вы, наверное, до сих пор думаете, что «Неопор» и «Эдама» немцы делают? :)

Весь импорт делают в Одессе, на Малой Арнаутской...

Сергей

Вопрос Ружинскому:

Уважаемый Сергей, а можно тупым в химии, но очень жаждущим получить качественный (прочный!) пенобетон, пояснить, как на бытовом языке называются составы, которые «производят и продают уже лет 70, только вот в Интернете об этом не пишут»?

ЧТО нужно спрашивать у фирмы, торгующей химреактивами, чтобы купить ЭТИ составы?

Заранее спасибо за проявленное внимание!

Рутен

Итак, Сергей, где адрес? Или контора 70 лет делает пенообразователь, но продает его исключительно в обстановке строжайшей секретности и только хорошо знакомым им лицам?

Казахстан делает «Унипор», насколько мне известно, аналог «Неопора», «Эдамы» и по немецкой лицензии (ее получили коллоидные химики) – очень дорогой пенообразователь. Ну и что?

Вот и выбор в белковых пенообразователях: 1. Курск, 2. Казахстан.

Или все-таки есть пара адресов других производителей пены?

Татьяна

Вопрос к Сергею Ружинскому.

Прошу помочь еще раз соединить теорию с практикой по вопросу получения двумодальной плотности с применением вибровспучивания

Дополнительное газообразование в пенобетоне сравнительно крупными пузырьками газа позволяет облегчить бетон, но уменьшает прочность. И тогда для того чтобы произвести пеногазобетон Д 600 В 3.5 (как у Алексея из Мариуполя), нужно сначала получить в смесителе пенобетон примерно такой: Д 700 и В 4.5 (что нереально), а потом облегчить его газовыми пузырьками.

Ускорители не позволяют намного увеличить прочность (я говорю о традиционной В 1,5), механоактивация и предварительная гидратация в разы прочность не увеличит.

Где резервы по прочности?

Или все не так просто, и надо что-то перечитать?

Спасибо за Вашу работу по нашему просвещению.
С уважением, Татьяна

Сергей Ружинский

to Рутен

Казахстанским коллоидным химикам немецкие лицензии не нужны по определению, так как технология переработки кератинсодержащего сырья не является каким-либо секретом, она преподобнейшим образом расписана во множестве литературных источников. А непосредственно по белковым ПАВ имеется даже несколько монографий.

Во всяком случае мое личное общение с д.т.н. Шентемировым оставило впечатление, что помимо глубочайшего обаяния это еще и высококласный специалист, для которого подобные вопросы – детский лепет.

По поводу адресов – извините, не дам. Но Вы можете их самостоятельно найти, воспользовавшись услугами «поисковиков».

to Сепрей

«Соли альгиновой кислоты» – это альгинат натрия. Его получают из водорослей. Факт стабилизации клееканифольного (и некоторых других тоже) пенообразователя именно этим веществом тщательно скрывается производителем, поскольку такой пенообразователь (в отличие от традиционного, клееканифольного) становится устойчивым в подкисленной среде. И кроме того, в этом случае тоже срабатывает эффект обменных реакций по кальцию, как и в случае с СДО: водорастворимый альгинат натрия переходит в водонерастворимый альгинат кальция и «бронирует» пенные пузырьки.

Подловить хитрецов можно, во всяком случае мне это удалось, когда я с невинным видом начал расспрашивать: «Это зачем же у вас мешки с водорослями во дворе валяются?»

Мне начали рассказывать, какая это хорошая добавка для скотины... Только не помню уже, кто-то из основоположников пенобетона, кажется, еще в 1927 г. подробно расписал, что если водоросли сварить в щелочи, а потом добавить в канифольное мыло, то застабилизированный таким образом пенообразователь ускорителей не боится.

Батраков в 90-е годы (книга «Модифицированные бетоны» – автор в дополнительном представлении не нуждается) тоже отметил, что альгинат натрия позволяет предотвратить коагуляцию микропенообразователей на основе смоляных кислот (СНВ и СДО) в присутствии пластификаторов (ЛСТ и С-3), но там работает еще и «дзета»-потенциал.

Только не спрашивайте меня, где взять килограмм бурых водорослей для экспериментов...

С уважением, Сергей Ружинский

ГЛАВА 7

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ЦЕМЕНТЫ

Цементная промышленность России сегодня уже с трудом удовлетворяет потребности строителей. Высокие издержки, низкая эффективность и сильный износ производственных мощностей цементной промышленности в ближайшем будущем станут серьезным тормозом развития строительной индустрии в целом. Вполне вероятно, что в самом ближайшем будущем цемент снова станет дефицитным.

Недостаток цемента всегда являлся сопутствующим фактором отечественной строительной индустрии и убедительным мотивом развития восполняющих мощностей на местах. Реальный прогноз: вскоре следует ожидать возрождения технологий производства альтернативных цементу вяжущих. В свое время в СССР, на зависть всему миру, очень результативным и плодотворным на достижения было научное сопровождение промышленности местных строительных материалов. Насколько эффективно эти достижения претворялись в практику, оставим историкам, но то, что даже из горелой шахтной породы у нас умудрялись делать неплохие вяжущие, факт неоспоримый – ситуация, как из знаменитого фильма: «жить захочешь – и не так раскорячишься».

По планам правительства, в России к 2005 году планируется увеличить объемы вновь возводимого жилья в 2 раза по сравнению с 2002 годом. С учетом замены ветхого и аварийного жилья темпы строительства должны возрасти вообще в 2,5 раза.

Уже сейчас ясно, что при существующих мощностях цементных заводов обеспечить такой объем потребления цемента строительной индустрией невозможно без модернизации производства и совершенствования технологий. По заключениям экспертов, на эти цели потребуется около 1 млрд. долларов инвестиций, на освоение которых тоже потребуется значительное время. В итоге прогнозируется, что в 2006–2007 гг. дефицит цемента может достичь порядка

2 млн. т в год, а к 2010 г. – от 5 до 10 млн. т. И то только в том случае, если объемы инвестиций в цементную промышленность составят порядка 10 млрд. долларов в ближайшие 10 лет. А если ситуацию пустить на самотек, жалкие остатки мощностей цементных комбинатов, унаследованные еще с хрущевских времен и выработавшие свой ресурс на 70–80 %, в самое ближайшее время поставят страну на колени перед иностранными производителями.

Дефицит цемента уже сегодня явственно проявляется в промышленно развитых регионах, и в первую очередь в Москве и Московской области, где только за 2003 г. его потребление превзошло местное производство почти на 30 %.

Разумное и оправданное в свое время районирование цементных комбинатов в современных условиях перестало отражать реальную экономическую ситуацию – цемент теперь приходится транспортировать от мест производства к местам потребления порой через полстраны. Увеличение времени от момента производства цемента до его потребления самым неблагоприятным образом сказывается на его качестве. В первую очередь страдают от этого быстротвердеющие и высокомарочные цементы.

Мало того, уже явственно обозначившиеся общемировые тенденции к подорожанию энергоносителей самым непосредственным образом отразятся на рынке цемента и на строительной индустрии в целом. Вполне обоснованы опасения, что крайне дефицитными станут именно высокомарочные и бездобавочные цементы.

Действительно, для производства 1 т бездобавочного ПЦ500 требуется примерно 270 м³ газа, в то время как для производства аналогичного количества шлакопортландцемента ШПЦ300 – всего 150 м³.

Но и это еще не все. Структура потребностей стройиндустрии в строительных бетонах и растворах примерно следующая:

- строительные растворы М25–М75, а также бетоны до В10 включительно – 24 %;
- бетоны В15–В20 – 43 %;
- бетоны В25–В30 – 22 %;
- бетоны В40, F200 и выше – 2 %;
- дорожные бетоны В30–В40, F150–F300 – 9 %.

Из-за сравнительной дешевизны цемента строительная индустрия в настоящий момент допускает использование высококачественных и высокомарочных цемента даже для производства строительных растворов.

С технической точки зрения, применять ПЦ400 (а то и ПЦ500) для строительного раствора марки М25 – верх глупости. Но с экономической точки зрения это вполне допустимо. Такой вот парадокс.

Общее подорожание цемента, обусловленное энергетическими факторами, должно все расставить по своим местам, и низкомарочные цементы, а также

шлакопортландцементы и местные низкомарочные вяжущие будут востребованы экономикой примерно для 50 % (а то и больше) строительно-технических приложений.

Поэтому помимо подорожания цемента произойдет и очень серьезная структурная перестройка номенклатуры выпускаемых цементах – основную долю составят низкомарочные вяжущие (как и во всем мире, кстати). А вот высокомарочных цементах будет выпускаться гораздо меньше, что обусловит их дефицит и существенное подорожание, которое будет уже обуславливаться не только ценой на энергоносители, но и конъюнктурой рынка.

И первый удар такой структурной перестройки примут на себя потребители высокомарочных цементах, в первую очередь производители пенобетона, поскольку качественный пенобетон можно делать только из высокомарочного цемента.

Поэтому те пенобетонщики, которые в ближайшее время не сделают упор на самостоятельное «доведение до ума» низкомарочных цементах (прежде всего это касается домола), обречены покинуть рынок.

7.1 Некоторые общие сведения о цементе

(Прочитую отдельные фрагменты из замечательной книги Федора Михайловича Иванова «Цементный бетон», – ну просто нечего добавить к словам мэтра и великого популяризатора бетоноведения.)

Цемент представляет собой тонкоразмолотый минеральный порошок, способный при смешении с водой образовывать пластичную массу, с течением времени затвердевающую в камневидное тело.

Наиболее распространенный цемент, называемый портландцементом, получают путем обжига при высокой температуре (1400–1500 °С) природного сырья в виде мергелей или искусственной смеси известняка с глиной и другими материалами. Обжиг производится в специальных печах. Обычно цементнообжигательная печь – это огромный, длиной 100–150 метров горизонтально расположенный цилиндр, выложенный внутри огнеупорным кирпичом и медленно вращающийся. Печь устанавливается с наклоном; благодаря этому материалы в ней, пересыпаясь, постепенно передвигаются от одного конца к другому. При обжиге получается спекшийся материал, часть которого расплавилась и застыла в стекловидном состоянии. Этот материал носит название цементного клинкера. На *рис. 7.1-1* показано строение цементного клинкера при небольшом увеличении. Из рисунка видно, что он состоит из кристаллических минералов, соединенных стекловидным веществом.

Цементный клинкер подвергается размолу в тонкий порошок, с добавкой при размолу нескольких процентов гипса (обычно до 5%) – и цемент готов.

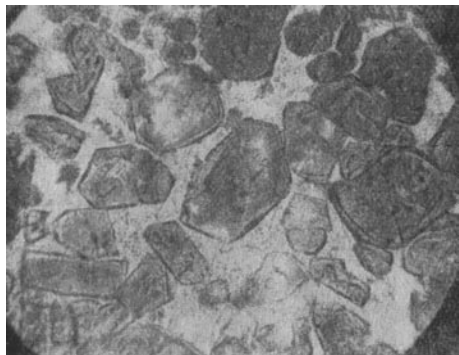


Рис. 7.1-1 Частица цементного клинкера в разрезе при увеличении в 100 раз

Цементный клинкер имеет сложный состав. В него входят соединения извести с окисью кремния, так называемые силикаты кальция. Они составляют основную часть – около 75% клинкера. Большое влияние на свойства клинкера оказывают содержащиеся в нем соединения окиси алюминия с окисью кальция, которые называются алюминатами кальция. Одно из этих соединений, преимущественно представляющее алюминаты кальция, – трехкальциевый алюминат, в большой степени влияет на техни-

ческие свойства цемента. Это вещество очень быстро соединяется с водой, но не дает устойчивых соединений. В зависимости от вида исходных материалов и условий обжига состав цементного клинкера изменяется, а следовательно, и его технические свойства. Портландцемент, выпускаемый различными заводами, имеет общее название и общие характеристики по прочности, но может различаться по составу. Различие в составе клинкера определяют такие важные технические свойства цемента, как скорость затвердевания, устойчивость в природных водах, морозостойкость и др.

Состав и свойства минералов, входящих в цементный клинкер, изучаются специальной отраслью науки – химией цемента.

В цементный клинкер при помоле могут вводиться, кроме гипса, и другие добавки: горные породы, шлаки, которые, присутствуя в цементе в количестве до 10–15%, существенно не ухудшают его прочности, позволяя таким образом экономить более дорогой клинкер. Однако там, где требуется высокая морозостойкость (например, в дорожных покрытиях), рекомендуется применять цемент, полученный размолотом цементного клинкера, без каких-либо добавок, кроме гипса.

Помимо портландцемента, выпускается большое количество различных цементов, отличающихся составом сырья, из которого их получают, способом производства и свойствами. Советская цементная промышленность выпускает специальные цементы, предназначенные для особых условий службы бетона и специальных целей. Значительное количество разновидностей цементов получается на основе портландцементного клинкера путем добавки к нему различных веществ. В *таблице 7.1-1* дан краткий перечень важнейших цементов с указанием их назначения, особенностей и области применения.

Чем тщательнее подобран состав сырья, чем лучше проведен процесс обжига и чем тоньше размолот цемент, тем выше его качества и тем большую прочность

Наименование цемента	Основные свойства	Где применяется
Портландцемент	Цементное тесто, растворы и бетоны способны затвердевать под водой. Основную прочность приобретает за месяц твердения.	В дорожных, гидротехнических и промышленных сооружениях, в конструкциях, подверженных действию атмосферных условий.
Портландцемент с гидравлическими добавками (пуццолановый портландцемент)	Твердеет более медленно, чем портландцемент. Бетон на этом цементе более водоустойчив и плотен, но легче разрушается от действия мороза.	В подводных и подземных частях гидротехнических сооружений, мостов, труб и др.
Шлаковыйпортландцемент (шлакопортландцемент)	Те же свойства, что и у пуццоланового портландцемента.	Там же, где портландцемент, а также в обычных конструкциях промышленных сооружений.
Пластифицированный портландцемент	По сравнению с портландцементом дает более подвижные бетонные или растворные смеси.	Там же, где и обычный портландцемент.
Гидрофобный портландцемент	Устойчив к хранению в сырых условиях.	Там же, где и обычный портландцемент.
Смешанные цементы (состоят из портландцемента и минеральных добавок или из местных вяжущих материалов: извести, шлаков)	Имеют пониженную прочность и морозостойкость.	Для строительных растворов и бетона невысокой прочности.
Расширяющийся цемент	Обладает способностью увеличивать объем при твердении.	Для восстановления поврежденных железобетонных конструкций, для водонепроницаемых штукатурок
Глиноземистый цемент	Быстро твердеет, выделяет большое количество тепла при твердении. Стоек в растворах гипса и других солей (кроме сернокислого натрия и щелочей). Не выдерживает температур выше 30 °С при затворении и в первые сроки твердения.	Для аварийных работ, в строительстве сооружений в агрессивных водах

Таблица 7.1-1

может он обеспечить при затворении его водой. Но более активный цемент всегда более чувствителен к действию влаги и углекислоты, содержащихся в воздухе, и при хранении быстрее теряет активность. Это видно на *рис. 7.1-3*. Чем мельче частицы цемента, тем больше их поверхность на каждый грамм цемента и боль-

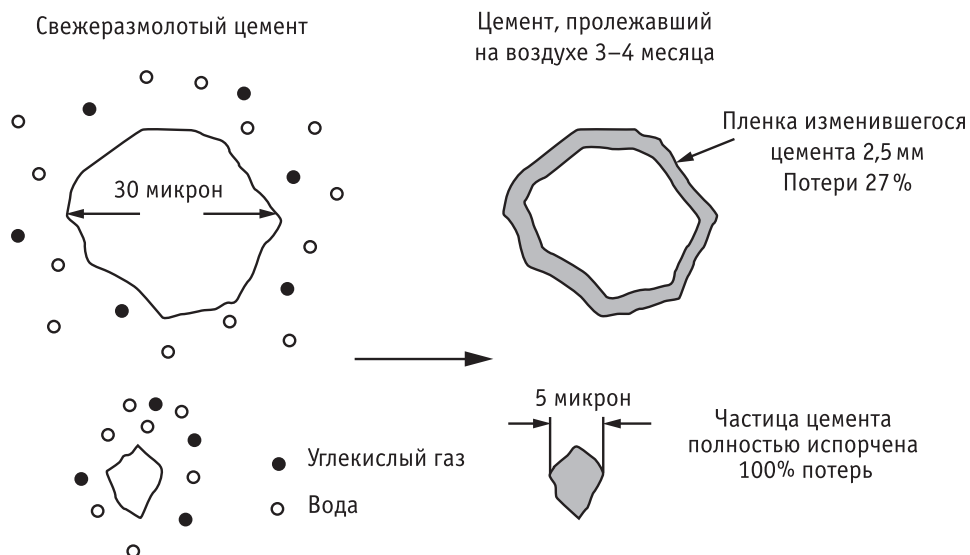


Рис. 7.1-3 Схема действия водяного пара и углекислоты воздуха на цементные частицы разной крупности

ше процент потерь при образовании на их поверхности пленки одинаковой толщины. Поэтому современные тонкомолотые высокоактивные цементы требуют тщательной упаковки, хранения и быстрого употребления в дело.

7.1.1 Как и когда был открыт современный цемент

Способность некоторых природных материалов после обжига приобретать свойство затвердевать, будучи смешанными с водой, была известна давно. Наиболее древними вяжущими строительными материалами были известь и гипс, которые не требовали тонкого размола и высоких температур для их изготовления. Постепенное развитие конструкций обжигательных печей и размольного оборудования позволило создать условия, необходимые для получения высококачественных цементов.

Производство современного портландцемента, дающего высокую прочность бетону, способного быстро затвердевать в смеси с водой и продолжать твердение под водой, возникло сравнительно недавно – в начале XIX века.

Первые указания о производстве таких цементов, предшественников современных цементов, имеются в работах русского академика М. В. Севергина (1702 г.) и в книге Егора Челиева.

В книге Челиева, изданной в 1825 г., обобщен опыт приготовления вяжущего вещества, применявшегося при восстановлении Московского Кремля. В книге дается описание свойств и технологии приготовления наиболее совершенного для того времени цемента, более совершенного, чем цемент англичанина Аспдина, который в тот же период работал над способом получения цемента, названного впоследствии портландцементом, – по имени города Портленд, около которого добывался естественный камень, по внешнему виду похожий на затвердевший бетон.

Большие работы по исследованию способов получения цемента были проведены в начале XIX века известным французским ученым Вика и его учениками. Интересно, что до настоящего времени для определения сроков схватывания цементного теста применяется прибор, который по имени его изобретателя называется иглой Вика.

Заслуга Егора Челиева, первого русского исследователя, получившего высококачественный цемент, достойно оценена в нашей стране.

Большие работы по исследованию свойств цемента провели русские ученые Р. Л. Шуляченко, А. А. Байков, В. А. Кинд, С. И. Дружинин, В. Н. Юнг, П. П. Будников, В. Ф. Журавлев и др.

7.1.2 Основные процессы, происходящие при затворении цемента водой

Чтобы лучше понять явления, происходящие при этом, сравним процессы, действующие в смеси цемента с водой (цементном тесте), с тем, что происходит в таком общеизвестном и простом материале, как глиняное тесто.

Глина, замешанная с водой, образует глиняное тесто, которое при хранении во влажных условиях (например, под сырой тряпкой) не изменит своего состояния и останется таким же мягким, каким оно было в момент замеса. Глиняное тесто затвердевает только при высушивании, но если его опять смочить водой, оно размокнет. Так размокает кирпич-сырец, не подвергавшийся обжигу. Высушенное глиняное тесто имеет меньший вес, чем влажное. Свободное удаление воды путем высушивания и возможность повторного получения теста при увлажнении свидетельствуют о том, что химического соединения воды с глиной не происходит.

С цементом дело обстоит иначе.

Если замешать порошок цемента с водой, образуется пластичная масса-тесто, которое может быть залито или уложено в заранее приготовленную форму. В зависимости от количества добавленной в него воды тесто будет более или менее жидким. Оставленное в покое, оно постепенно густеет, теряет текучесть,

подвижность (как говорят – «схватывается»), а затем постепенно затвердевает, обращаясь в прочное камневидное тело, называемое цементным камнем. Прочность цементного камня возрастает со временем, и ее увеличение продолжается в течение длительных сроков, исчисляемых месяцами и годами. При хранении теста во влажных условиях, исключающих высыхание, оказывается, что вес цементного камня не изменяется со временем. При длительном твердении теста, а затем цементного камня на воздухе оно не высыхает полностью; часть воды остается и может быть удалена из него только при повышенной температуре. Это свидетельствует о химическом связывании воды с минералами, составляющими цементный клинкер, в новые прочные соединения. Затвердевший цементный камень уже не размягчается водой. Это его важнейшее свойство позволяет широко применять цементы для строительства сооружений, непрерывно находящихся в воде или подвергающихся периодическому ее действию.

Как бы мы ни старались размочить цементный камень, ничего из этого не получится. Наоборот, в воде он приобретает еще большую прочность, чем на воздухе.

7.1.3 Твердение цемента с точки зрения науки

На *рисунке 7.1-1* представлено строение частицы цемента в разрезе. При действии воды на порошок цемента составные части его вступают в реакцию с водой. В ходе этого процесса выделяется известь и образуются нерастворимые в воде новые соединения, так называемые гидросиликаты и гидроалюминаты кальция.

Химически связав часть воды, новые соединения, обладая меньшей растворимостью, выпадают из раствора в виде мельчайших кристаллов, невидимых даже под обычным микроскопом. Эти кристаллы срастаются, переплетаясь между собой и образуя плотное камневидное тело.

Наиболее полную теорию твердения цементов создал русский ученый, академик А. А. Байков. Эта теория расширена и углублена в многочисленных работах советских ученых.

На *рисунке 7.1.4-1* показан кусочек затвердевшего цементного камня, увеличенный в 25 000 раз современным электронным микроскопом. Вещества, образующиеся при взаимодействии цемента с водой, по своему кристаллическому строению близки к минералам, составляющим обычные горные породы, поэтому они хорошо сцепляются с их поверхностью.

Чтобы улучшить свойства цемента, к нему при помеле добавляют небольшое количество гипса. Даже при 3–5% в составе смеси его роль весьма существенна. Небольшая добавка гипса сильно влияет на сроки загустевания цементного теста, удлиняя его схватывание до нескольких часов, что позволя-

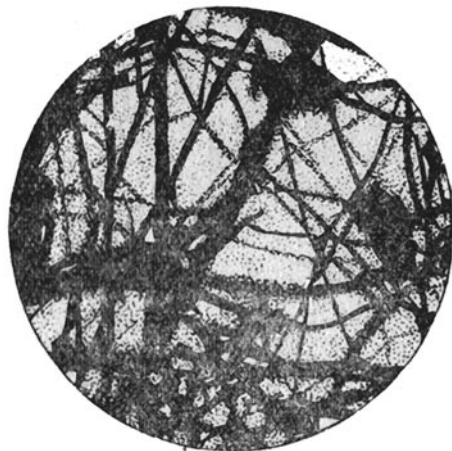


Рис. 7.1.4-1. Затвердевший цемент под электронным микроскопом

ет перевозить и укладывать бетонную смесь в конструкции. Кроме того, гипс увеличивает прочность и стойкость цемента. Происходит это потому, что он химически соединяется с наиболее слабой составной частью цемента – трехкальциевым алюминатом, превращая его в более стойкое вещество.

Цементы без гипса или с малым его количеством часто загустевают уже в процессе перемешивания, и это создает неудобства при работе с цементом.

Сроки схватывания зависят от температуры материалов для бетона и самой бетонной смеси после затворения. Чем выше температура, тем быстрее начинается загустевание. При температу-

ре выше $+60^{\circ}\text{C}$ обычно происходит быстрое схватывание большинства цементов. При температуре ниже 0°C схватывание и твердение цементов прекращается.

Прочность бетона в наибольшей степени зависит от прочности цементного камня. В свою очередь, прочность цементного камня в большой степени зависит от состава цемента, качества его обжига, тонкости измельчения и количества воды, взятой для затворения. Чем больше воды взято на замес, тем меньше прочность цементного камня и, следовательно, бетона.

Изучение процессов твердения цементов показало, что при этом химически соединяется с цементом только 15–20 % воды по отношению к весу цемента. Но в состав бетонной смеси приходится вводить большее количество воды для придания ей подвижного удобоукладываемого состояния за счет образования подвижного цементного теста, которое смазывает поверхность песка и каменных материалов. Обычно в бетонной смеси отношение количества воды к весу цемента находится в пределах 45–65%. Излишек воды по сравнению с количеством, необходимым для химических реакций, раздвигает частицы песка и каменных материалов в составе бетона и увеличивает в нем объем пустот. Цементный клей становится разбавленным и прочность его понижается. Уменьшается и плотность бетона, а от плотности зависит его долговечность.

Для дорожного бетона допускается водоцементное отношение не более 0,50–0,55 в зависимости от климатических условий, в которых он будет работать.

Для того чтобы уменьшить количество воды в составе бетонной смеси, практикуется добавка небольшого количества так называемых поверхностно-активных веществ. Научные основы их действия разработаны в нашей стране

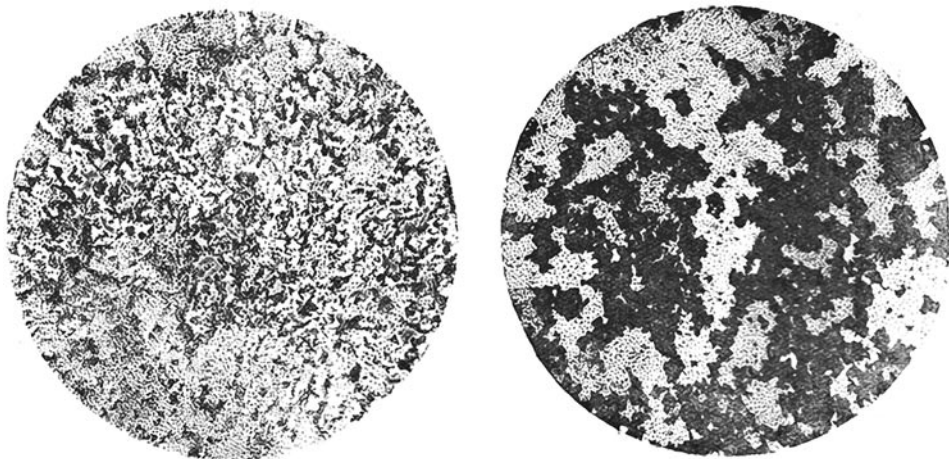


Рис. 7.1.4-2 Микроснимки цемента: слева – с добавкой пластификатора; справа – цемент без пластифицирующей добавки

академиком П. А. Ребиндером. Эти вещества, распределяясь по поверхности частиц цемента, покрывают их тончайшей пленкой, создают смазывающий слой; при этом увеличивается пластичность бетонной смеси. Такие вещества называют пластификаторами. Пластификаторы добавляются в очень небольшом количестве – десятые доли процента от веса цемента, но, несмотря на это, действие их очень сильное. На *рисунке 7.1.4-2* приведены снимки под микроскопом цемента, замешанного с водой без добавки пластификаторов и с добавкой. В обычном цементном тесте отдельные частицы слиплись в крупные хлопья, с добавкой же пластификатора все эти частицы разделились, увеличив таким образом пластичность теста.

В качестве пластификаторов применяется отход бумажного производства – сульфитно-спиртовая барда, сейчас ее называют лигносульфонат технический (ЛСТ). Добавка пластификатора не только повышает пластичность бетонной смеси, но и улучшает технические свойства бетона, например, его морозостойкость. Если при добавке пластификатора не увеличивать пластичность бетонной смеси, а сократить водоцементное отношение, то можно увеличить прочность бетона или уменьшить расход цемента. Цементная промышленность выпускает пластифицированные цементы в массовом количестве.

Для бетонных дорожных покрытий важное значение имеет добавление в состав смеси веществ, повышающих долговечность бетона. В условиях климата средних и северных широт России основным фактором, вызывающим разрушение дорожного покрытия, является многократное замораживание бетона

в то время, когда он насыщен водой. Улучшение морозостойкости делает бетон более долговечным. Необходимое повышение морозостойкости достигается введением в бетон микродоз специальных веществ, обладающих способностью образовывать небольшие количества пены в составе бетонной смеси. Как ни удивительно, но оказывается, что бетон, содержащий в своем объеме небольшое количество пустот (4–5%) в виде мелких, равномерно распределенных пузырьков воздуха, обладает в 2–3 раза большей морозостойкостью, чем обычный. Количество вспенивающих веществ, называемых воздухововлекающими добавками, составляет всего несколько сотых процента от веса цемента. В качестве таких добавок обычно применяется канифольное мыло (промышленное название – абиетиновая смола).

Воздухововлекающие добавки должны найти широкое применение в дорожном строительстве, так как позволяют значительно повысить долговечность бетонных дорожных покрытий.

Среди специальных цементов, обладающих важными свойствами, следует отметить разработанный советскими учеными (М. И. Хигеровичем и Б. Г. Скрамтаевым) гидрофобный цемент. Само название говорит о том, что этот цемент отталкивает воду.

Гидрофобность цементу придает добавление при помоле небольшого количества вещества, которое не смачивается водой. Такое вещество образует тонкую молекулярную пленку на поверхности частиц цемента. Гидрофобный цемент, находясь даже во влажном воздухе, не теряет своей активности. Он гораздо устойчивее к длительному хранению, чем обычный портландцемент. Когда же в составе бетонной смеси гидрофобный цемент попадает в бетономешалку, то под действием трения о частицы песка и щебня жировая пленка на его поверхности прорывается, и он смачивается водой. Гидрофобный цемент придает бетону повышенную морозостойкость по сравнению с обычным портландцементом. Так же, как и пластифицированный цемент, гидрофобный цемент является улучшенной разновидностью портландцемента.

На основе портландцементного клинкера выпускается целый ряд цементов с добавками. В зависимости от вида добавки изменяется и название цемента. Если портландцемент смешивается с доменными шлаками, то его называют шлакопортландцементом. Если в качестве добавки используются природные материалы, обладающие способностью химически соединяться с известью (так называемые пуццоланы), то такие цементы называются пуццолановыми портландцементами. И шлакопортландцемент, и пуццолановый портландцемент обладают более медленным твердением по сравнению с портландцементом и менее морозостойки, поэтому их применение для дорожных покрытий не допускается. Они могут быть использованы для подводных и подземных сооружений и конструкций, подвергающихся обычным атмосферным воздействиям.

Из специальных цементов представляет интерес глиноземистый цемент. Он отличается большой скоростью твердения. Такой цемент полностью затвердевает в течение трех суток, приобретая за это время полную прочность. Однако быстрое твердение сопровождается большим выделением тепла, способным привести к растрескиванию конструкций в результате неравномерного нагрева. Кроме этого, высокая температура (выше $+25^{\circ}\text{C}$) нарушает процесс твердения глиноземистого цемента; образующиеся при этом неустойчивые соединения снижают прочность и долговечность бетона.

Глиноземистый цемент применяют в тех случаях, когда нужно быстро восстановить или забетонировать какую-нибудь конструкцию. Он применим только для тонкостенных сооружений. Применение такого цемента ограничено из-за большой стоимости (вдвое дороже портландцемента) и дефицитности сырья для его приготовления.

Одним из серьезных недостатков портландцемента является усадка – уменьшение размеров изготовленных на нем бетонных конструкций при нахождении их на воздухе. В последнее время созданы цементы, не обладающие этим недостатком и даже расширяющиеся в процессе твердения. В СССР такой цемент был разработан группой ученых под руководством В. В. Михайлова и Б. Г. Скрамтаева.

Расширяющийся цемент характеризуется увеличением объема в первые часы и сутки твердения. Если изготовить из него изделие длиной 1 метр, то через трое суток оно удлинится на 15 миллиметров. Дорожное покрытие из такого цемента на третьи сутки дало бы 15-метровый прирост длины на каждый километр – он как бы растет при затвердевании. Такое замечательное свойство расширяющегося цемента позволяет использовать его с наибольшим успехом для заделки швов в различных сооружениях. В частности, он применяется для уплотнения швов между тубингами в тоннелях московского метро. Расширяющийся цемент находит применение для ремонта конструкций, когда важно обеспечить плотное прилегание их частей. Недостаточная морозостойкость бетона на таком цементе не позволяет применять его для сооружений, к которым предъявляются требования высокой морозостойкости.

Есть и другие виды специальных цементов: магнезиальный, кислотостойкий и др. Их описание читатель найдет в специальных руководствах.

Для строительства дорожных покрытий обычно применяется портландцемент. Однако необходимо, чтобы этот цемент обладал высокой прочностью, небольшой изнашиваемостью, высокой морозостойкостью и хорошей устойчивостью к перепадам температуры. Не все заводы выпускают портландцементы, удовлетворяющие этим требованиям. Технические условия на цемент для дорожного строительства предусматривают ограничение содержания (до 9%) в цементе неустойчивого минерала, о котором мы уже говорили выше, – трехкальциевого алюмината. Марка дорожного цемента должна быть не ниже 500.

Для растворов каменной кладки могут успешно применяться цементы из местных материалов – извести, шлаках, гипсе. Производство таких цементов с использованием в качестве активной составляющей молотой извести-кипелки развивается в нашей стране на основе предложений И. В. Смирнова и разработанной им совместно с Б. В. Осиным теории. Они значительно дешевле обычного портландцемента и обладают необходимыми строительными качествами.

Применение извести-кипелки внесло переворот в технику использования извести. Активная энергия, заключенная в обожженной извести и терявшаяся прежде во время гашения, теперь используется при твердении растворов.

7.2 Общие сведения о применении ПАВ в цементных системах

Цементный строительный раствор в момент изготовления – это система, состоящая из различных компонентов, в том числе цемента, заполнителей и воды. Каждое твердое вещество в данном случае, независимо от его распределения в системе, представляет собой отдельную фазу – совокупность отдельных частей системы, одинаковых по составу и свойствам и отделенных от остальных частей системы поверхностью раздела.

В нашем случае каждое зерно песка может быть отделено от аналогичных частичек прослойками воды или частицами цемента, но так как по составу и свойствам зерна песка практически не отличаются одно от другого, то их рассматривают как одну фазу. Равным образом и все частицы цемента, вводимого в состав строительного раствора, считаются другой твердой фазой.

Зерна цемента очень малы, их размерность лежит в пределах 1–100 микрон. Чем дисперснее вещество, тем больше его удельная поверхность. Удельная поверхность цементов, определяемая по методу воздухопроницаемости, составляет в среднем 3000–3500 см²/г. Этот метод вполне пригоден для практических нужд и им повсеместно пользуются. Однако он не является достаточно точным, так как не отражает истинной поверхности цементных зерен, обычно имеющих разбитый микрорельеф, микротрещины и микрощели.

По этой причине реальная микрогеометрическая поверхность цементной частицы во много раз больше ее кажущейся геометрической поверхности. Значительно более достоверны показатели удельной поверхности, определяемые по адсорбции азота. Согласно этим методикам, удельная поверхность современных цементов составляет в среднем около 20 000 см²/г. Нетрудно подсчитать, что суммарная поверхность цементного порошка, идущего на изготовление 1 м³ бетона при расходе цемента 400 кг/м³, составляет 800 000 м². А если сюда добавить еще поверхность заполнителей (их удельная поверхность значительно меньше, чем цемента, но все равно ее нужно учитывать), то окажется, что поверхность частиц твердых фаз в 1 м³ бетонной смеси приближается к 1 км².

Предположим, что при изготовлении 1 м³ бетонной смеси вводят 180–190 л воды. Теоретически такое количество воды нужно распределить на огромной поверхности твердых частиц и получить практически однородную смесь. Смешивание компонентов – одна из важнейших задач в технологии бетонов и строительных растворов. В частности, равномерное перемешивание способствует более полному и быстрому физико-химическому взаимодействию цементных частиц с водой. Вода, вводимая в бетонную смесь при ее изготовлении, должна прежде всего равномерно распределиться, при этом тончайшим слоем смочить всю суммарную поверхность цементных частиц и заполнителей.

Но вода обладает значительным поверхностным натяжением, то есть между молекулами воды, находящимися в ее поверхностном слое на границе раздела фаз, действуют значительные силы сцепления, препятствующие ее растеканию. Так как из всех геометрических тел шар обладает наименьшим отношением поверхности к объему, другими словами, отличается наиболее «экономным» развитием поверхности, то именно благодаря поверхностному натяжению жидкость в свободном состоянии стремится не растекаться в тонкую пленку, а образовывать шарообразные капли. Это мы наблюдаем повседневно при медленном выливании жидкости из какого-либо сосуда, при попадании воды на горячую поверхность (образуются отдельные капли), при растекании ртути, при выпадении дождя. Следовательно, большое поверхностное натяжение воды препятствует ее равномерному распределению на твердых частицах бетонной смеси.

Некоторые вещества, а именно поверхностно-активные (в дальнейшем ПАВ) способны существенно снижать поверхностное натяжение воды у данной поверхности раздела фаз, например, на границах раздела фаз «вода – твердое тело», «вода – воздух». Всем известный с детства пример проявления действия этих веществ – мыльные пузыри. Можно раздуть мыльный пузырь диаметром даже более 20 см. Это удастся сделать потому, что на обеих сторонах тончайшей водяной оболочки пузыря находятся молекулы ПАВ. В таком состоянии слой воды не стремится сжаться, а наоборот, легко поддается растяжению, становясь как бы подобием резины.

Таким образом, добавки ПАВ, снижая поверхностное натяжение воды, тем самым облегчают равномерность ее распределения тонким слоем на поверхности твердых тел.

Добавки ПАВ существенным образом влияют на бетонные композиции как в период их приготовления, так и на стадии эксплуатации уже готовых изделий.

7.2.1 Улучшение смачиваемости цемента и заполнителей

Добавки ПАВ улучшают растекание воды тонким слоем по поверхности твердых частиц, входящих в состав бетонной смеси. Но тончайшие слои воздуха,

адсорбированного на зернах цемента, песка, щебня, в том числе в их микротрещинах и микрощелях, или защемленного между зернами, в свою очередь препятствуют их смачиванию.

Известно, что ПАВ способны эмульгировать воздух в воде, и по этой причине добавки ПАВ в бетонную композицию также облегчают смачивание водой твердых наполнителей. А чем полнее произойдет смачивание компонентов бетона, тем большей будет однородность его свойств в различных участках и тем выше окажется качество.

7.2.2 Дефлокулирующее действие ПАВ на цемент

При взаимодействии воды с цементом его зерна частично слипаются, не успев заметно прореагировать с водой. Следовательно, в получаемом цементном тесте содержится некоторое количество скоплений (флокул) цементных частиц. При своем образовании они захватывают воду, поэтому ее приходится вводить в большем количестве, чем это теоретически необходимо, с тем, чтобы повысить подвижность (пластичность) системы. В таких агрегатах-флокулах не только вода, но и сам цемент не используется полностью. Мелкие комочки цемента, не прореагировавшего с водой, остаются как бы упакованными в затвердевшем бетоне. Добавки ПАВ являются дефлокулянтами цемента (способствуют распаданию цементных скоплений на более мелкие составляющие), тем самым повышая эффективность его использования.

7.2.3 Пластифицирующее действие ПАВ

Хорошо известно, что при изготовлении бетонов и растворов всегда приходится решать противоречивую задачу. С одной стороны, нужно ввести в бетонную (растворную) смесь как можно больше воды для обеспечения легкости ее вымешивания, транспортировки и укладки. С другой – чтобы получить плотный и прочный бетон, количество воды следует минимизировать, вплоть до теоретического минимума, обусловленного водопотребностью, для достижения теста нормальной густоты.

Цементное тесто в бетоне можно считать минеральным клеем для песка и щебня. В таком клее должно быть достаточно воды, чтобы он легко распределялся по поверхности твердого тела, но в то же время разбавление цементного клея водой уменьшает прочность склейки.

Твердение цемента – это химический процесс, обусловленный взаимодействием двух основных реагентов: цемента и воды. Портландцемент в ходе этой реакции способен химически связать всего лишь 20–25% воды от своей

массы. При этом образуются твердые гидратные новообразования, которые обуславливают и формируют прочность бетонов.

Между тем, изготовление бетонов вынуждает расходовать 40–55 % воды от массы цемента (при условии вибрационного или другого эффективного метода уплотнения бетона). В строительные растворы, требующие повышенных реологических характеристик смеси, объем добавленной воды увеличивается до 60–80 % от массы цемента, а то и больше. Такое значительное количество воды в растворе необходимо не для протекания химических процессов твердения, а исключительно для того, чтобы получить смесь, достаточно удобную в работе при данных методах укладки и уплотнения.

Общеизвестно, что увеличение удельного расхода воды (т.е. увеличение водо-цементного отношения) отрицательно сказывается на свойствах бетона (раствора). Та вода, которая в процессе химической реакции не была связана с цементом в гидратные новообразования, испаряется из бетона при его твердении, вызывая значительную его усадку и оставляя открытые поры, подчас крупные, соединенные капиллярными ходами. Такие поры ослабляют структуру затвердевших бетонов, при этом понижается его прочность, особенно при изгибе и растяжении, повышается способность впитывать воду и агрессивные жидкости.

Любой коррозионный процесс связан с диффузией (прониканием) агрессивного вещества в тело материала. Чем больше открытых пор, тем интенсивнее идут диффузионные процессы и тем резче сказываются коррозионные воздействия на бетоны и арматуру в них. Равным образом процессы частого попеременного намокания и высыхания, замораживания и оттаивания тоже протекают тем интенсивнее, чем больше открытая пористость цементного материала. В итоге снижается долговечность бетонных конструкций.

Таким образом, в технологии бетона заложено серьезнейшее противоречие. Мы наблюдаем большое расхождение между количеством воды, нужным для процесса твердения цемента, и тем, которое мы вынуждены давать для получения удобоукладываемых систем. Как же сблизить «лезвия ножниц»? Как устранить указанное противоречие?

Если бы была возможность химически связывать в растворе не 20–25 %, а 40 % воды, то мы бы получали цементный камень с невысокой пористостью. Такими качествами обладает глиноземистый цемент, но он достаточно дефицитен, дорог и применяется только в специальных случаях.

Существует возможность уменьшить водоцементное отношение, изготавливая бетонные смеси, уплотняемые при помощи внешнего вибровоздействия. Под влиянием вибрации бетонная смесь приобретает жидкотекучие свойства, становится более подвижной и пластичной. Однако операции вибрирования – не панацея. Тем более во многих случаях вибрационное уплотнение просто невозможно применить.

Между тем, помимо способов механического уплотнения имеется более эффективный метод уменьшения количества воды затворения при изготовлении бетонов – использование добавок ПАВ. Эти добавки можно с успехом применять в любых бетонах, независимо от метода их уплотнения, в том числе и в вибрируемых. С помощью добавок ПАВ можно уменьшать водоцементное отношение в бетонах в среднем на 10%, а в растворах – на 12–14%.

Так как прочность бетонов и растворов зависит от водоцементного отношения, то для получения заданной прочности можно, снижая количество воды, уменьшать и дозировку цемента – на 8–10%, а иногда и более. Иначе говоря, применение поверхностно-активных веществ дает возможность экономить цемент, то есть служит одним из важных путей решения задачи рационального и экономного использования материальных ресурсов в строительстве.

7.2.4 Экономия цемента в низкомарочных бетонах и тощих растворах

В ряде случаев возникает необходимость рационального использования цемента высокой активности (например широко распространенной марки «М-400») для приготовления бетона или так называемого тощего раствора (кладочного или штукатурного), к которому предъявляются умеренные требования к прочности при достаточно жестких – в отношении морозостойкости и водонепроницаемости.

Проектируя такие составы на высокоактивных цементах и не всегда имея возможность вводить тонко молотые добавки, разбавители для понижения активности цемента, которые, как известно, к тому же понижают морозостойкость бетона, строители становятся зачастую перед необходимостью применять бетон, обладающий значительно большей прочностью, чем это требуется, поскольку для достижения заданной подвижности бетонной смеси при достаточно низком водоцементном отношении цемент приходится перерасходовать.

Возможным путем экономии в этом случае могло бы стать повышение водоцементного отношения и соответственное уменьшение расхода цемента, другими словами, снятие излишнего запаса прочности бетона. Однако простое повышение водоцементного отношения обычно влечет за собой снижение морозостойкости и водонепроницаемости бетона.

Применяя гидрофобизирующие ПАВ, выступающие в данном случае в качестве микропенообразователей, появляется возможность уменьшить расход цемента, увеличив водоцементное отношение в соответствии с требуемой прочностью бетона, соблюдая при этом требования в отношении морозостойкости и водонепроницаемости материала.

7.2.5 Повышение производительности труда каменщиков и штукатуров

В тощих растворах гидрофобизирующие ПАВ позволяют облегчить кладочные и штукатурные работы за счет увеличения пластической вязкости растворной смеси. Это значительно повышает производительность труда каменщиков и штукатуров. Достаточно сказать, что, единожды попробовав работать с такого рода добавками (иногда их в рекламных целях называют «заменителями извести»), каменщики впоследствии отказываются без них работать.

7.2.6 Уменьшение экзотермии бетона

Чем меньше расход цемента при изготовлении бетона, тем ниже его экзотермия – выделение тепла в ходе химического взаимодействия цемента и воды.

При возведении многих массивных монолитных бетонных конструкций, например гидротехнических, необходимо, чтобы экзотермия бетона по возможности была невысокой, иначе могут возникнуть значительные градиенты температур в бетоне, так как наружные слои конструкции охлаждаются водой или воздухом, а его ядро – центральная часть – может разогреться до достаточно высоких температур. При этом возникают значительные напряжения в теле бетонного массива, которые обуславливают появление трещин и неоднородностей.

Введение добавок ПАВ позволяет снизить расход цемента и тем самым уменьшить экзотермию бетона.

7.2.7 Уменьшение остаточной влажности пропаренных изделий

Очень важно, чтобы остаточная влажность изделий после пропаривания была по возможности низкой. Особенно это касается стеновых ограждающих конструкций. Монтаж таких изделий в конструкцию может вызвать полное промерзание стен в первую же зиму.

Повышенная отпускная влажность также способствует коррозии арматуры и закладных деталей, способствует длительному, порой многолетнему специфическому сырому «бетонному» запаху в помещениях.

Благодаря добавкам ПАВ удастся снизить отпускную влажность бетонных изделий после пропаривания, а гидрофобизирующие добавки, кроме того, еще и ускоряют их высыхание.

7.2.8 Повышение жизнеспособности бетонных (растворных) смесей

Использование добавок ПАВ позволяет повысить жизнеспособность бетонных (растворных) смесей, что особенно важно при их современном централизованном производстве на автоматизированных заводах. Заводы представляют собой крупные предприятия, каждое из которых снабжает множество строительных объектов готовыми бетонными (растворными) смесями. Часто проходит 1,5–3 часа с момента изготовления смесей до применения их в строительстве. В этот период, особенно при жаркой погоде, нередко происходит преждевременное схватывание смесей, возникают производственные потери, ухудшаются свойства затвердевших материалов. Такие потери могут быть весьма значительными.

Так, при централизованном изготовлении растворов, когда их перевозят на расстояние 20–40 км и они еще некоторое время хранятся на объекте, потери иногда достигают 15% выпускаемого раствора и более. Иначе говоря, почти шестая часть продукции может оказаться неиспользованной. Для предотвращения преждевременного загустения смесей товарных бетонов и растворов и применяют соответствующие добавки ПАВ.

Добавки ПАВ нередко используют также при изготовлении монолитных бетонных конструкций, например в гидротехнических сооружениях, когда требуется, чтобы слой уложенного бетона не успел схватиться пока не уложат новый (верхний) слой бетонной смеси, ибо сцепление свежего бетона со старым происходит очень плохо, что вызывает ряд нежелательных последствий.

Бетонные смеси, получаемые при помощи электро- или пароразогрева, применяются в производстве сборного железобетона. Такой предварительный разогрев способствует сокращению тепловлажностной обработки на 30–35%. Но с повышением температуры резко ускоряется схватывание цемента. Чтобы предотвратить загустевание бетонных смесей, вводят добавки ПАВ, благодаря чему удается формировать смеси в горячем виде.

7.3 Из истории применения гидрофобизирующих добавок в технологии бетонов

Применение добавок эмпирически возникло несколько столетий назад при изготовлении известковых растворов и бетонов в целях повышения их прочности, водостойкости и долговечности. Так, в древнем Риме добавки свиного сала, свернувшегося молока или крови использовались для улучшения штукатурных растворов.

Древнерусские мастера и зодчие практиковали введение коровьего молока, ячменной мякины, бычьей крови, льняного семени, отвара древесной коры и некоторых подобных веществ для улучшения свойств извести и строительных растворов, изготовленных на ее основе.

Коровье молоко добавляли в воду при гашении извести. В молоке, как известно, наряду с казеином, белком и молочным сахаром содержится 3–3,5% жира в виде прямой эмульсии «масло в воде». Жир молока состоит из глицеридов олеиновой, пальмитиновой и стеариновой кислот, по своей природе относящихся к гидрофобизаторам.

Известно, что при установке Александровской колонны в Петербурге ее фундамент залили скользким и своеобразным по составу раствором, о котором архитектор Монферран, руководивший строительными работами, писал: «Так как работы проводились зимою, то я велел смешать цемент с водкою и прибавить десятую часть мыла».

В прошлом, когда еще не была известна природа физико-химических процессов, происходящих при смешивании цемента с водой, вода добавлялась к смеси интуитивно, в зависимости от навыков людей, укладывающих бетон. Иногда бетонное покрытие было прочным, но бывали и случаи разрушения уложенного бетона. Долговечность бетона пытались повысить за счет использования оптимального количества цемента и воды при изготовлении цементной пасты. В дальнейшем было установлено, что для получения бетонов с достаточными строительно-техническими свойствами следует знать закономерности регулирования параметров цементных систем на стадии взаимодействия цемента с водой. В связи с этим возникла необходимость изучения вопросов гидратации цемента, проектирования состава бетонной смеси, роли различных добавок в ней, разработки теории водо-цементного отношения и др.

Руководствуясь теорией, исследователи старались поддерживать как можно более низкое водоцементное отношение, чтобы достичь наибольшей прочности цемента, однако такой подход не всегда соответствовал строительным требованиям. Попытки добавлять больше воды, чем требовалось, приводили к снижению прочности бетона, усиленному его растрескиванию и изменению основных характеристик. Все это привело к необходимости разработки добавок, снижающих расход воды и позволяющих регулировать свойства цемента по отношению к действию воды.

Одним из убедительных практических примеров эффективного применения добавок является построенный в XIV в. Карлов мост через р. Влтаву в Праге. Для его сооружения был применен бетон на известковом вяжущем с добавкой куриных яиц, которые по своему составу являются прямой водной эмульсией олеина и других жиров, обеспечивающей гидрофобизирующие свойства искусственному камню. Карлов мост служит людям более пятисот лет, хотя сделан

из воздушной извести, тогда как венский мост Рейхсбрюке, построенный из обычного цементного бетона и работавший почти в аналогичных с Карловым мостом эксплуатационных факторах воздействия, разрушился через несколько десятилетий (летом 1976 г.).

С расширением знаний в области разработки и применения добавок возникла потребность создания бетонов большей прочности, быстротвердеющих, схватывающихся быстрее или медленнее, чем обычный, химически стойких к вредным воздействиям и т. д. Все это способствовало развитию и усовершенствованию добавок различного назначения.

С 1850 г., с начала производства бетона на портландцементе (гидравлическом вяжущем), в него добавляли гипс для регулирования сроков схватывания. Использование добавок хлористого кальция как ускорителя или сахара как замедлителя относится к началу века – 1919–1920 гг. Пластификаторы начали широко применять в 1935 г., воздухововлекающие добавки – в середине 40-х годов. Позднее появились противоморозные добавки и средства ухода за бетоном в виде пленкообразующих покрытий на его поверхности.

С 1960 г. число добавок, применяемых в строительстве, значительно увеличивается, они становятся более разнообразными, их качество и постоянство свойств непрерывно улучшается. Разрабатываются продукты, все более отвечающие требованиям современного строительства.

Проблеме разработки и внедрения различных химических добавок в бетоны и растворы в последние годы в мировой практике строительства стало уделяться еще больше внимания. Это обусловлено необходимостью дальнейшего улучшения технологических и эксплуатационных свойств строительных изделий и конструкций. Применение химдобавок позволяет гибко, просто и эффективно управлять рядом важнейших параметров свежееизготовленных и отвердевших бетонов.

Судя по литературным публикациям, применение добавок позволяет изготавливать бетонные смеси и бетон, которые почти полностью удовлетворяют строительно-техническим требованиям. Одним из таких требований, предъявляемых к цементам, бетонам и растворам, является необходимость регулирования свойств цемента по отношению к действию воды.

Взаимодействие цемента с водой имеет двойственный характер: полезный – необходимость службы цемента в качестве вяжущего вещества из-за химического сродства с водой, и вредный – его гидрофильность, т. е. способность, как в порошкообразном состоянии, так и в виде цементного камня хорошо смачиваться водой, что, в свою очередь, приводит ко многим нежелательным явлениям. Адсорбирующая влага вызывает слипание частиц и потерю активности цемента; при приготовлении бетонных растворных смесей цемент иммобилизует избыток воды, что увеличивает пористость цементного камня и приводит

к ухудшению его прочности и стойкости; кроме того, длительное воздействие воды на готовые изделия понижает их эксплуатационные свойства – в бетоне начинают развиваться коррозионные процессы.

В связи с противоречиями, заложенными в самой природе цемента, перед наукой встала проблема, которую хорошо сформулировал М.И.Хигерович: «...изменить свойства цемента так, чтобы он стал менее гидрофилен и даже приобрел водоотталкивающие способности, но в то же время мог бы взаимодействовать с водой на тех стадиях применения, когда это практически необходимо». Такой цемент был назван гидрофобным (водоотталкивающим).

Понятие «гидрофобный» относится не только к цементу, но и к цементному тесту и цементному камню, полученным из такого цемента. Гидрофобность цемента достигается путем введения специальных гидрофобизирующих добавок. Однако здесь следует обратить внимание на разницу между гидрофобными и гидрофобизирующими добавками. Первые, например парафин, стеариновая кислота или кальциевые соли высших жирных или нафтенowych кислот, при смешивании с цементом не реагируют с ним и остаются в виде механической примеси. Вторые, например водорастворимые натриевые и калиевые мыла жирных, нефтяных и смоляных кислот, не гидрофобны сами по себе, но образуют гидрофобные вещества в результате химического взаимодействия с цементом – в бетонной композиции, пересыщенной гидроокисями кальция, в результате обменных реакций по кальцию они превращаются в кальциевые мыла, которые уже водонерастворимы и гидрофобны.

Многочисленные разработки, в том числе нашедшие внедрение в практике, выполнены с использованием гидрофобизаторов на основе кремнийорганических соединений (*КОС*). В структуре *КОС* реализуются связи Si–O и Si–C, что определяет их промежуточное положение между органическими и неорганическими соединениями. В большинстве соединений этого вида атом кремния связан только с двумя атомами кислорода, а другие связи замещены органическими группами CH_3 , C_2H_5 , C_6H_5 и др., определяющими их эластичность. Степень эластичности конечных продуктов зависит не только от числа органических радикалов, но и от их величины и строения, а также от молекулярной массы.

В качестве гидрофобизаторов могут использоваться кремнийорганические соединения, от мономеров до полимерных жидкостей. Кремнийорганические мономеры применяют в основном в качестве исходных компонентов для производства кремнийорганических полимеров.

Последние условно подразделяют на две группы: олигомеры и высокомолекулярные соединения. Кремнийорганические гидрофобизаторы могут применяться для повышения морозо- и коррозионной стойкости бетонов, снижения водопотребности бетонных смесей и воздухоовлечения, повышения атмосферостойкости строительных материалов и изделий – кирпича, гипсовых

изделий, каменных материалов, окрасочных и штукатурных составов, защиты стыков и фасадов крупнопанельных зданий, защитно-декоративной отделки зданий и сооружений и т. п.

Одним из основных условий использования КОС в качестве гидрофобизаторов строительных материалов и конструкций является экономическая целесообразность. Поэтому в строительной практике применяются не все существующие кремнийорганические гидрофобизаторы, а лишь наиболее дешевые и доступные из них. К ним относятся, например, алкилхлорсиланы и кубовые остатки от их ректификации.

Алкилхлорсиланы по существу первые КОС, которые были использованы для гидрофобизации строительных материалов. Для этой цели ранее употреблялись и в отдельных случаях еще найдут свое применение выпускаемые отечественной промышленностью метил-трихлорсилан (МТС), этил-трихлорсилан (ЭТС), этил-дихлорсилан (ЭДС) и технический ди-метил-ди-хлорсилан. Наряду с алкилхлорсиланами с большим успехом применяются кубовые остатки от их ректификации на заводах-изготовителях.

Широко используются для гидрофобизации строительных материалов водные растворы омыленных натриевых (реже калиевых) метилсилоканатов (МСН), этилсиликанатов (ЭСН) и фенилсиликанатов (ФСН) – их технические гостированные названия, соответственно, ГКЖ-10, ГКЖ-11, ГКЖ-12. Эти составы имеют ряд преимуществ перед другими кремнийорганическими гидрофобизаторами, допускают применение в форме водных растворов, как правило, не имеют запаха, достаточно универсальны и дешевы, так как чаще всего изготавливаются из отходов производства.

Кремнийорганические соединения, как и большинство добавок, обладают полифункциональными свойствами, в связи с чем, оказывая в основном положительный эффект, они иногда ухудшают некоторые свойства бетонной смеси и бетона. Для устранения негативного влияния эти добавки объединяют с другими в комплексные полифункциональные модификаторы (ПФМ) для направленного изменения технологических и эксплуатационных свойств бетонов и растворов. В последнее время во всем мире разработано большое количество полифункциональных модификаторов. С большой степенью уверенности можно даже утверждать, что практически все химические добавки или модификаторы, применяемые в настоящий момент в строительной индустрии, – это ПФМ.

Следует отметить, что примерно до 70-х годов техническими гидрофобизирующими добавками в цементобетонной технологии служили преимущественно природные продукты (например олеиновая кислота) или некоторые отходы промышленности (например мылонафт). Однако экономические соображения лимитировали их применение в строительстве.

Исходя из экономических соображений и сохранения свойств бетона, которые он приобретает в случае применения КОС или природных гидрофобизаторов типа олеиновой кислоты, в настоящее время для изготовления гидрофобизирующих добавок стали очень широко использовать продукты и отходы нефтехимического синтеза, масложировой и целлюлозно-бумажной отраслей промышленности. Наибольшим распространением пользуются такие гидрофобизаторы этого типа, как окисленный петролатум, кубовые остатки синтетических жирных кислот (КОСЖК), битумные дисперсии, соапстоки растительных масел и др. Эти технические вещества отличаются друг от друга происхождением и составом, но для всех характерно наличие молекул с резко выраженным асимметрично-полярным строением. Такие молекулы представляют собой соединения дифильного характера, имеющие гидрофильную «головку» (одну или несколько полярных групп типа $-\text{OH}$, $-\text{COOH}$, $-\text{SO}_3\text{H}$, $-\text{OSO}_3\text{H}$, $-\text{COOM}_e$, $-\text{NH}_2$ и т.д.) и гидрофобный «хвост» (как правило, алифатическую цепь, иногда включающую ароматическую группу).

Гидрофобизирующие добавки повышают удобоукладываемость бетонных смесей, увеличивают их связность, нерасслаиваемость. Это имеет особое значение при транспортировке и хранении смесей в летнее время. Кроме того, объемная гидрофобизация бетона добавками способствует снижению его водопоглощения в 1,5–2 раза по сравнению с бетоном без добавок.

Гидрофобизирующие добавки перед применением в бетон, как правило, переводят в водорастворимое состояние. Это можно отнести к их недостаткам. К тому же они пластифицируют главным образом тощие бетонные смеси и несколько замедляют процессы твердения.

Важным шагом в химической технологии бетона явилась разработка М. И. Хигеровичем, Б. Г. Скрамтаевым, Г. И. Горчаковым, Х. М. Лейбович и другими составов гидрофобизирующих добавок из гидрофобизатора и гидрофилизатора. Такие добавки оказывают универсальное действие на удобоукладываемость, т.е. они пластифицируют как тощие, так и жирные бетонные смеси. Влияние компонентов такой комплексной добавки (гидрофобизатор + гидрофилизатор) на физико-технические свойства бетонов аддитивно – они усиливают влияние друг друга. При этом такие комплексные гидрофобно-пластифицирующие добавки представляют собой поверхностно-активные вещества (ПАВ) более высокой качественной категории, чем индивидуальные гидрофилизаторы и гидрофобизаторы, взятые в отдельности. Кроме того, применение таких добавок облегчает превращение гидрофобизирующего компонента, как правило, водонерастворимого в водоразбавляемую жидкость, которую удобно вводить с водой затворения при изготовлении смесей.

Недостатком гидрофобно-пластифицирующих добавок, с технологической точки зрения, является то, что они замедляют сроки схватывания и темп роста

прочности цементного камня. Помимо того, величины удобоукладываемости бетонной смеси, прочности и ряд других физико-технических свойств бетона, достигнутые с такой добавкой, могут потребовать улучшения. В таких случаях в состав гидрофобно-пластифицирующих добавок включают вещества, позволяющие не только исключить нежелательные эффекты компонентов добавки, но и получить с помощью взаимного усиления влияния ингредиентов (эффект синергизма) в направлении значительного улучшения физико-технических свойств цементных систем. В качестве таких дополнительных компонентов к гидрофобизирующим добавкам наиболее распространены ускорители схватывания и твердения, а также различного вида и степени эффективности пластификаторы-водопонизители и суперпластификаторы.

Таким образом, исходя из приведенного научно-технического обзора применения гидрофобизирующих добавок, следует отметить, что их создание и применение послужило значительным вкладом в совершенствование технологии бетона и железобетона.

7.4 Гидрофобизация тяжелых бетонов и тощих растворов

Некоторые ПАВ не только пластифицируют свежеприготовленные смеси, но вместе с тем гидрофобизируют бетоны (растворы) и изделия из них.

Бетоны (и растворы) представляют собой капиллярно-пористые тела и по своей природе гидрофильны, то есть, находясь в соприкосновении с водой, они ее впитывают. Последствия, возникающие от вредного влияния воды, а также от попеременного замораживания увлажненного бетона с последующим его оттаиванием становятся заметны уже через несколько лет. Бетон с низкими показателями по морозостойкости разрушается буквально на глазах.

В специализированных бетоноведческих изданиях в качестве примера часто приводится случай разрушения в Австрии моста Рейхсбрюкке через Дунай летом 1976 года, обусловленного низкой морозостойкостью бетона.

Дефекты в бетоне, обусловленные вредным влиянием воды, не сразу достигают опасного предела, а накапливаются постепенно – иногда этот процесс вообще визуальным незаметен. Но несомненным является тот факт, что эти разрушительные процессы начинаются сразу же после изготовления бетонного изделия и заканчиваются только после его полного разрушения.

Негативное влияние воды во всех ее агрегатных состояниях (водяной пар, вода, лед) вредно сказывается на сохранности бетона на всем протяжении его службы. Исключить или хотя бы значительно минимизировать его можно только уменьшением поступления этой воды в толщу бетона. Поскольку главной транспортной артерией поступления воды в бетон являются капиллярные

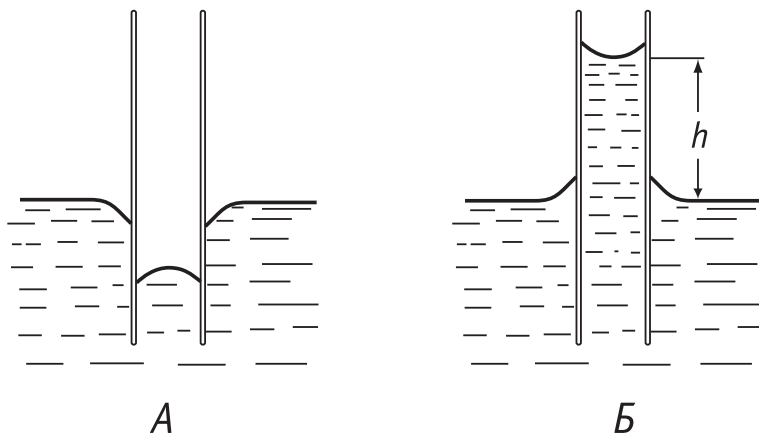


Рис. 7.4-1 Уровень воды в гидрофобном (А) и гидрофильном (Б) капиллярах

ходы, бороться с водонасыщением бетона очень сложно. Капиллярные силы настолько сильны, что различные наружные защитные обмазки или изоляции мало эффективны – рано или поздно вода находит себе путь.

Против капиллярных сил невозможно бороться, но, оказывается, их можно попросту «выключить». Для этого достаточно гидрофильным внутренним стенкам пор и капилляров, изначально пронизывающим все бетонное изделие, придать гидрофобные свойства. Это с успехом делают гидрофобизирующие добавки (см. рис. 7.4-1 и 7.4-2).

Противокапиллярное давление гидрофобизированного пористого тела достаточно велико, и сам факт его существования подтверждает правильность часто употребляемого в этом случае термина «водоотталкивающее покрытие». И хотя этот термин в данном контексте с терминологической точки зрения неверен (ведь

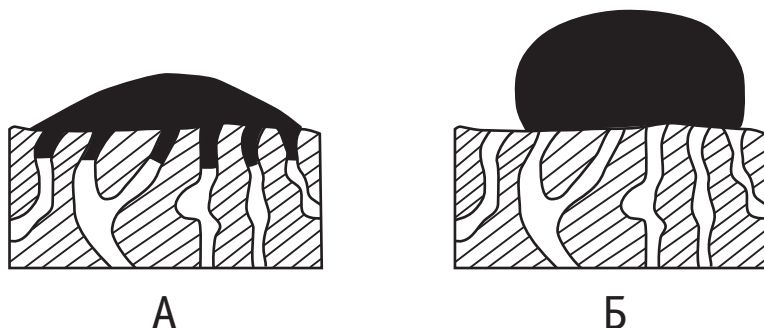


Рис. 7.4-2 Вода на поверхности гидрофильного (А) и гидрофобного (Б) пористого тела

никакого покрытия, по сути, нет), с физической стороны он отражает сущность происходящих явлений.

Именно благодаря этому противокапиллярному давлению пористые (равно как и условно-пористые) материалы, оставаясь воздухо- и паропроницаемыми, оказываются непроницаемыми для воды в жидкой фазе даже при достаточно высоких гидростатических давлениях.

Давление, при котором вода начинает просачиваться в гидрофобизированные материалы (водоупорность), определяется в основном шириной пор, так как существующие водоотталкивающие покрытия имеют примерно одинаковую степень гидрофобности. Так, например, гидрофобизированный материал, имеющий поры со средним диаметром около десяти микрон, способен противостоять гидростатическому давлению около $1/3$ атмосферы, то есть выдерживать, не впитывая, столб воды высотой до трех метров. Если вспомнить, что самый сильный дождь при ураганном ветре создает гидростатическое давление около 20–40 см водяного столба, то становится ясным, что гидрофобизация достаточно надежно защищает строительные материалы от проникновения в них дождевой влаги. Тем не менее, если гидростатическое давление воды на материал превышает противокапиллярное (например при нахождении над поверхностью гидрофобизированного материала толстого слоя воды), то после заполнения пор водой протекает процесс фильтрации, который может идти даже легче, с меньшим коэффициентом проницаемости, чем если бы материал был гидрофильным. Это обусловлено тем, что гидрофильные материалы сорбируют воду, проникающую в мельчайшие дефекты поверхности пор. Это вызывает явления набухания, сокращающего размеры пор, а также пептизации и расклинивания, в результате которых от поверхности отщепляются микрочастицы, закупоривающие поры. У гидрофобных материалов эти явления проявляются лишь в незначительной степени или не обнаруживаются вовсе.

Благодаря противокапиллярному давлению пропитанные водой гидрофобизированные пористые материалы и высыхают значительно быстрее, чем негидрофобизированные, впитавшие такое же количество воды, так как она стремится выйти из несмачивающихся капилляров – противокапиллярное давление ее оттуда выдавливает. Чтобы выгнать воду из гидрофильных капилляров, необходимо, напротив, приложить внешнее давление. Таким образом, гидрофобизация пористых, волокнистых или порошкообразных материалов служит защитой от проникновения воды лишь при сравнительно невысоком гидростатическом давлении. Поэтому рекомендовать гидрофобизацию подводных гидротехнических сооружений, резервуаров и емкостей, водопроводных труб и прочих водотранспортных, водоизолирующих или водоудерживающих сооружений, находящихся под постоянным большим давлением воды, нельзя. В этом случае следует помнить, что абсолютную водонепроницаемость можно

выполнить только при условии полного устранения в теле бетонной конструкции пор и капилляров. Это возможно только при помощи специальных высококачественных бетонов.

Для обеспечения максимальной водоупорности (водонепроницаемости) гидрофобизированных материалов важны не только возможно большой краевой угол воды с водоотталкивающим покрытием и шероховатая структура поверхности, обеспечивающая наибольший кажущийся угол смачивания. Не менее существенна минимальная величина эффективного радиуса пор материала и отсутствие стремления гидрофобного покрытия к распространению на поверхности «вода – воздух» за счет поверхностного растворения. Необходимо также, чтобы во избежание понижения краевого угла водоотталкивающая пленка плохо впитывала в себя воду. Все эти качества могут обеспечить либо изначально водонерастворимые, либо, что технологичней, изначально водорастворимые, но в составе бетонной композиции переходящие в водонерастворимые гидрофобизирующие добавки.

Одним из убедительных практических примеров, показывающих эффективность гидрофобизации бетона, может служить состояние конструкций Карлова моста через р. Влтаву в Праге. Этот мост был построен в XIV веке. Для сооружения его шестнадцати массивных опор был применен бетон на известковом вяжущем с добавкой куриных яиц. Природная водная эмульсия олеина, других жиров и иные составные части куриного яйца являются прекрасными гидрофобизирующими поверхностно-активными веществами. Карлов мост по размерам (его длина 516 м), а главное, по характеру водной среды, климатологических и других факторов, воздействующих на бетон, имеет много общего с упоминавшимся выше венским мостом Рейхсбрюкке. Однако обычный цементный бетон последнего разрушился через несколько десятилетий, а известковый (на воздушной извести!), но хорошо гидрофобизированный бетон Карлова моста, являющегося выдающимся архитектурным памятником Европы, служит уже более пятисот лет.

Объемная гидрофобизация строительных материалов с точки зрения их долговечности эффективнее, чем поверхностная обработка водоотталкивающими или кольматирующими составами. Об этом, в частности, свидетельствует следующий факт. В начале прошлого столетия за рубежом получили широкое распространение флюаты (растворимые соли кремнефтористоводородной кислоты), которые наносили на поверхность облицовки из природных (преимущественно карбонатных) камней или штукатурки. Исследования, проведенные в 30-х годах, показали, что флюатированный камень через 20–25 лет оказался в худшем состоянии, чем обычный. С тех пор коренным образом изменилось отношение к флюатированию как методу поверхностной обработки материалов.

7.5 Гидрофобизированные цементы

Анализ научно-технической информации по управлению технологией цементных бетонов, в частности с помощью химических добавок, свидетельствует о непрерывном развитии этого процесса.

Как известно, бетон используется в качестве строительного материала уже несколько тысячелетий. Минойцы на о. Крит, например, изготавливали бетон из дробленых или размолотых глиняных черепков, связанных известью.

Греки, а позже римляне добавляли к составу минойцев вулканический туф или размолотый кирпич. Это было весьма важной ступенью, поскольку такие добавки позволяли бетону затвердевать в воде. Они практически изменили процесс твердения цемента и связывания им бетона. Два знаменитых сооружения, свидетельствующие о гибкости и долговечности древнего бетона, сохранились до наших дней: Базилика Константина и Пантеон в Риме.

Между древними и современными цементами имеется одно значительное различие. Греческие и римские цементы затвердевали и наращивали прочность в результате химического процесса – пуццолановой реакции, происходящей в присутствии извести и кремнистых материалов, растворяемых щелочью, подобно тем, что содержатся в туфе и глинистых черепках. Цементы же, изготавливаемые в настоящее время, состоят преимущественно из силикатов кальция, которые гидратируются самостоятельно, без добавления извести.

Современное развитие технологии строительства включает проблему повышения качества и долговечности бетона, которая может во многих случаях успешно решаться путем использования новых химических добавок. Для достижения высокой организации производства бетона и технико-экономической эффективности необходимо постоянно стремиться к расширению и усовершенствованию разработок по теоретическим и практическим основам применения комплексных органоминеральных добавок, создавать новые способы их приготовления и использования в бетоне в соответствии с требованиями рынка.

7.5.1 Сущность гидрофобизации цемента

Общие и специальные свойства цемента, бетонов и растворов в большинстве своем зависят от действия воды, которому подвергаются эти материалы в периоды изготовления и твердения, а также во время службы в конструкции. По отношению к воде цемент отличается противоречивыми свойствами: химическое сродство с водой органически присуще цементу (без этого он не мог бы служить вяжущим веществам). Но вместе с тем гидрофильность цемента, то есть способность и в порошкообразном состоянии, и в виде цементного камня хорошо смачиваться водой, приводит ко многим вредным последствиям.

Так, при помоле клинкера адсорбирующаяся влага вызывает прилипание наиболее мелких частиц цемента к мелющим телам, что затрудняет работу мельниц. Затем, во время транспортирования и хранения, цемент поглощает влагу из окружающей среды и теряет активность. Далее, в процессе изготовления бетонных (растворных) смесей цемент обычно иммобилизует значительный избыток воды, что увеличивает пористость цементного камня, снижает его прочность и стойкость.

Наконец, при длительном воздействии воды на отвердевшие цементные материалы их эксплуатационные свойства могут сильно ухудшиться. Помимо ущерба, непосредственно вызываемого водой, ожидаемое вредное ее действие (при крайней неопределенности характера и размера этого действия) иногда затрудняет выбор материалов для конструкций и нередко вынуждает принимать чрезмерно большие запасы «химической прочности».

Таким образом, взаимодействие цемента с водой имеет двойственный – одновременно и полезный, и вредный характер.

Однако гидрофильность цемента нельзя рассматривать как неизменную его особенность, которая неизбежно должна проявляться на всех этапах его изготовления и применения.

Уже давно классики мирового и отечественного бетоноведения обращали внимание на необходимость регулировать свойства цемента по отношению к действию воды. Из задачи преодоления противоречий, заложенных самой природой цемента, и исходил научный замысел: изменить свойства цемента таким образом, чтобы он стал менее гидрофилен и даже приобрел водоотталкивающие свойства, но в то же время мог бы взаимодействовать с водой на тех стадиях применения, когда это практически нужно.

Так возникла задача – разработать качественно новый технологический путь изготовления цемента с тем, чтобы можно было в известной мере управлять поведением цемента по отношению к воде во всех ее агрегатных состояниях и на всех этапах существования цемента, начиная с операции его помола на цементном заводе, затем в период его перевозки и хранения, потом в момент изготовления бетонных или растворных смесей и, наконец, во время службы цементных материалов в конструкциях.

Такой цемент, у которого процессы вредного взаимодействия с водой ограничены, а способность к нормальному гидравлическому твердению остается без изменений, был назван гидрофобным. Первенство в его разработке принадлежит советским бетоноведам Хигеровичу М. И. и Скрамтаеву Б. Г. (а. с. № 84554 с приоритетом от 30.04.49). В начале 50-х годов в СССР было развернуто промышленное производство гидрофобных цементов на ряде цементных комбинатов страны.

7.5.2 Условия получения гидрофобного цемента

Гидрофобный цемент получают введением специальных гидрофобизирующих добавок при помоле цементного клинкера, и только этой операцией производство гидрофобного цемента отличается от технологии обычных цементов. Кроме того, уже готовому цементу можно придать гидрофобные свойства путем его повторного помола в мельницах в присутствии гидрофобизаторов.

Получение гидрофобного цемента основано на образовании хемосорбционных пленок, возникающих на цементных зернах в результате взаимодействия гидрофобизирующих добавок со свободной известью, которая выделяется из силикатов цементного клинкера.

Еще за много столетий до нашего времени практиковалось применение гидрофобных органических веществ для повышения водостойкости воздушной извести. Жиры, масла и некоторые другие органические соединения, обладающие гидрофобными свойствами, широко распространены в животном и растительном мире. Повседневно встречая такие вещества в окружающей природе, человек с давних пор применял их не только для питания, но и для различных бытовых и производственных надобностей, в том числе в строительной технике. Так, например, в древнем Риме к извести добавляли свиное сало и свернувшуюся кровь животных, а в древней Руси – творог, льняную сечку вместе с льняным семенем, отвар еловой коры и другие вещества.

Подобно тому, как еще более далекие наши предки, добывая огонь трением, не подозревали о законе превращения одного вида энергии в другой, мастера и зодчие древних и средних веков пользовались органическими поверхностно-активными добавками, физико-химические свойства которых были открыты лишь несколько веков спустя.

Органические добавки к воздушной извести, которая в старину являлась основным и важнейшим вяжущим веществом, применялись до XVIII в. включительно. Вторая половина XVIII в. и весь XIX в. были эпохой быстрого развития гидравлических вяжущих веществ. Надобность в гидрофобизирующих и подобных добавках, как тогда казалось, отпала, и они были забыты.

В начале двадцатого века, когда выяснилось, что водонепроницаемость и некоторые другие свойства цементных бетонов и растворов нуждаются в улучшении, вновь начали применять органические добавки. Наибольшую популярность приобрели добавки, представлявшие собой нерастворимые в воде мыла жирных кислот.

Так, например, под различными названиями (церезит, церолит и др.) использовались смеси олеинокислого кальция и олеинокислого алюминия с гидроокисью кальция. (Последний компонент обычно брали в избытке, чтобы облегчить равномерное распределение олеатов в процессе их введения в бе-

тонную или растворную смесь.) Существовали также препараты из битумов, восков и смол, применявшихся в виде эмульсий при изготовлении бетонов и растворов. Иногда бетонные изделия гидрофобизировали последовательным пропитыванием растворами мыла и алюминиевых квасцов в воде либо раствором парафина в дихлорэтаноле или четыреххлористом углероде, либо другими составами. Разработка подобных способов гидрофобизации бетонов носила преимущественно эмпирический характер.

Одна из первых попыток не только найти рациональный способ гидрофобизации цемента и растворов, но вместе с тем, исходя из физико-химических представлений, дать такому способу научное обоснование, была сделана еще в 1934 г. в ЦНИИПСе (Центральный Научно-Исследовательский Институт Промышленных Сооружений). При исследовании капиллярного натяжения воды в цементных порошках, гидрофобизированных каменноугольным пеком, было впервые научно доказано, что специфической особенностью гидрофобизированных строительных растворов является пониженное капиллярное давление. Было также установлено, что в результате гидрофобизации растворов уменьшается их смачиваемость, гигроскопичность, водопроницаемость и повышается химическая стойкость. В то же время были разработаны первые предложения по способу введения несмачивающихся водой органических добавок в цементный клинкер при его помоле.

Некоторые из исходных теоретических представлений, которыми пользовалось в то время мировое бетоноведение, были пересмотрены. В процессе исследований выяснилось, что особого внимания заслуживают не гидрофобные, а гидрофобизирующие добавки. Первые (парафин, стеариновая кислота или кальциевые соли высших жирных кислот) при смешивании с цементом не реагируют с ним и остаются в виде механической примеси. Вторые (водорастворимые мыла жирных, нефтяных или смоляных кислот) сами по себе не гидрофобны, но образуют гидрофобные вещества в результате химического взаимодействия с цементом.

Абсолютно гидрофобные парафин и стеариновая кислота, будучи механической примесью в цементе, не способны предохранить его от поглощения влаги из воздуха и образования комков, другими словами, от порчи при хранении. В то же время жирные кислоты, взаимодействуя с цементом, образуют на поверхности его зерен гидрофобные соли (мыла), которые уменьшают гигроскопичность и предотвращают комкование цемента.

Таким образом, первое принципиальное условие получения гидрофобного цемента – применение не гидрофобных, а именно гидрофобизирующих добавок. К добавкам такого типа относятся вещества, содержащие крупные ассиметрично-полярные молекулы и способные при адсорбции на изначально гидрофильной поверхности цементных зерен взаимодействовать с ионами кальция

или магния. В результате такого взаимодействия образуются кальциевые или магниевые гидрофобные соли (мыла), ориентированные в строго определенном порядке. Эти молекулы как бы прилипают своими полярными «головками» к гидрофильному телу – цементному зерну, при этом гидрофобные углеводородные радикалы этих молекул обращены наружу. Они-то и обеспечивают гидрофильному цементу гидрофобные качества.

Приведенные общие теоретические представления о создании адсорбционных пленок, обладающих гидрофобными свойствами, основываются на работах П. А. Ребиндера. В своих работах по физикохимии флотационных процессов он показал особое влияние химической фиксации полярных групп на оптимальную ориентацию углеводородных цепей, и в дальнейшем применил эти положения при исследовании пенобетона.

Как показали дальнейшие опыты, при правильном выборе гидрофобизирующих добавок получаемый гидрофобный цемент мало гигроскопичен, не смачивается водой и способен длительное время храниться даже во влажной среде без потери активности. Это объясняется тем, что адсорбционные слои, построенные из ориентированных молекул, образуют своеобразный защитный частокол почти на каждом отдельном цементном зерне. Цементное зерно как бы «ощетинивается» углеводородными радикалами, защищающими цемент от воды.

Однако свойство несмачиваемости цемента не должно препятствовать изготовлению бетонных (растворных) смесей обычным путем. Затворение цемента или любого другого минерального порошка возможно лишь в том случае, когда в процессе перемешивания этот материал смачивается водой. Если краевой угол, под которым лежащая на твердом теле капля жидкости прикасается к его поверхности, будет больше 90° , то полное затворение не осуществимо. Поэтому невозможно, например, затворить измельченный битум водой, как и получить однородную смесь из песка или цемента с ртутью.

Для нормального смешивания гидрофобного цемента с водой и заполнителями необходимо, чтобы гидрофобная оболочка не была сплошной и легко разрушалась в процессе изготовления бетонной (растворной) смеси. Нужно, чтобы защитная пленка на зернах гидрофобного цемента имела своеобразное «сетчатое» строение. Тогда достаточно незначительных нарушений целостности гидрофобной пленки для начала гидратации цемента, что влечет сравнительно быстрое обнажение новых поверхностей, имеющих гидрофильный характер, и их смачивание водой. Происходящее при этом развитие и углубление макро- и микрорельефа поверхности зерен в свою очередь содействует растеканию воды и ее усвоению цементом.

Шероховатость поверхности всегда уменьшает угол, под которым лежащая на твердом теле капля прикасается к его поверхности. Краевой угол на поверхности, испещренной углублениями, может дойти до нуля. (Так, капля воды не

растекается на горячей плите вследствие образования выравнивающей подстилки из тонкого слоя пара, но хорошо смачивает холодный металл.)

Зерно гидрофобного цемента, реагируя с водой в объеме, раскрывается по множеству плоскостей, при этом изолирующая оболочка теряет свое значение. Следовательно, в период изготовления бетонной (растворной) смеси о примененном гидрофобном цементе нельзя уже говорить как о гидрофобном порошке. Здесь этот цемент становится уже гидрофильным.

Зерна обычного цемента слипаются при первом соприкосновении с водой, но оболочки, имеющиеся на зернах гидрофобного цемента, предотвращают их агрегирование, поэтому при превращении в рабочее состояние такой цемент даже лучше смачивается водой, чем обычный.

Принципиальным условием получения гидрофобного цемента является такое строение гидрофобной оболочки, при котором цемент, затворяемый водой, способен реагировать с ней подобно обычному цементу. Это специфическое строение оболочек достигается благодаря применению гидрофобизирующих, но не гидрофобных добавок.

В процессе исследований было также установлено, что применение некоторых гидрофобизирующих добавок типа технических мыл, в особенности смоляных, нередко сопровождается значительным вовлечением воздуха в цементные системы. Повышенное и, главное, плохо поддающееся контролю воздухововлечение способно существенно снизить прочность тяжелых бетонов. Это свойство гидрофобизированных цементов следует считать отрицательным при производстве тяжелых бетонов и положительным при производстве легких и ячеистых бетонов.

7.5.3 Выбор добавок для целей гидрофобизации цемента, их химические свойства

В лабораторных экспериментах были изучены сотни различных веществ – потенциальных гидрофобизаторов цемента. Но в конце концов исследователи остановились на трех классах веществ: это нефтеновые, жирные и смоляные кислоты. Данные вещества в той или иной степени присутствуют во многих промышленных отходах, что обуславливает их доступность и дешевизну.

В конечном итоге сущность исследований свелась к оценке воздухововлекающих характеристик тех или иных составов, ведь именно количество вовлеченного воздуха при приготовлении бетонной смеси регламентирует степень применимости гидрофобизированных цементов в тяжелых бетонах.

К счастью, в легких, а тем более в ячеистых бетонах подход к вопросу воздухововлечения диаметрально противоположный. Этот фактор позволяет

существенно расширить перечень допустимых к применению гидрофобизаторов.

Известное представление о причинах различного влияния, оказываемого смоляными, нафтеновыми и жирными кислотами на вовлечение воздуха, дает сравнение их пенообразующей способности. В корне неверно судить о воздухоудерживающих свойствах гидрофобизирующих добавок, определяя их пенообразование и пенистость в чистой воде. Испытания в чистой воде не дают абсолютно никакой пользы, так как результаты опыта всецело зависят от индивидуальных свойств поверхностноактивной добавки и никоим образом не отражают свойства среды, в которой происходит реальный процесс. В таких экспериментах следует обязательно учитывать, что свежесозданная цементная система характеризуется сильно щелочной средой, пресыщенной катионами кальция.

Пенообразующая способность поверхностно-активных веществ существенно меняется при переходе от чистой воды к содержащей ионы кальция и магния. Так, омыленные нафтеновые кислоты, вызывающие значительное пенообразование в дистиллированной воде, в растворе гидроокиси кальция практически не пенятся. И наоборот, омыленные смоляные кислоты хорошо и устойчиво пенятся в жесткой воде, а в чистой нет. Все эти выводы справедливы в очень широком диапазоне концентраций.

Эти выводы не являются неожиданными. Давно известно, что в мягкой (дистиллированной) воде смоляные мыла щелочных металлов пенятся не так сильно, как щелочные соли нафтеновых или жирных кислот вследствие различной степени гидролиза.

Известно также, что прибавление солей щелочноземельных металлов существенно меняет растворимость и пенообразующую способность мыл. В жесткой воде смоляные мыла образуют значительную и довольно устойчивую пену, а мыла жирных и нафтеновых кислот в такой воде обладают гораздо меньшими пенообразующими качествами. По этим причинам, например, в мыловарении в состав мыла, состоящего в основном из жирных кислот, добавляют некоторое количество смоляных кислот (канифоль), иначе оно не будет пениться в жесткой воде.

Детальные эксперименты по измерению поверхностной активности различных гидрофобизирующих добавок показали, что нафтенат и олеат натрия существенно понижают поверхностное натяжение на границе «раствор – воздух». Однако при введении извести или цементного порошка их поверхностное натяжение (и, соответственно, пенообразующая способность) становятся почти такими же, как у чистой воды. Аналогичный результат получается и при исследовании водных вытяжек из гидрофобизированного цемента, изготовленного с добавками олеиновой кислоты или мылонафта.

Смоляные же кислоты, часто применяемые в технологии тяжелых, легких и ячеистых бетонов в качестве воздухововлекающих добавок, обладают проти-

воположными свойствами: при замене иона натрия ионом кальция их пенообразующая способность возрастает. В реальной цементной системе на микропенообразование существенное влияние оказывает также и минерализация микропузырьков воздуха продуктами гидратации цемента и ультрамелкими частичками заполнителей. Но в целом можно с достаточной степенью уверенности утверждать, что при наличии свободной извести в реакционной среде (среда реального бетонного замеса) смоляные кислоты обладают значительно большей воздухововлекающей способностью, чем жирные или нафтеновые.

Поэтому смоляные кислоты и их производные применяют в основном для изготовления «воздухововлекающих» цементов. Для получения же гидрофобизированных добавки выбирают, наоборот, с таким расчетом, чтобы в результате реакции возникали вещества с малой поверхностной активностью, неспособные быть сильными микропенообразователями.

Таковыми добавками служат прежде всего нафтеновые, высшие жирные, а также синтетические кислоты и их соли.

Нафтеновые кислоты, названные так первым их исследователем В. В. Марковниковым, образовались путем окисления нафтенов при залегании нефти в недрах земли и на ее поверхности и содержатся в большинстве видов сырой нефти. По большому счету, присутствие нафтеновых кислот в сырой нефти свидетельствует о ее низком качестве.

Особенно много нафтеновых кислот в нефти, добываемой на постсоветском пространстве. Так, в азербайджанской нефти от 0,2 до 1,1 %, а в прикарпатской – от 0,1 до 1,2 % нафтеновых кислот, с месторождений Западной и Восточной Сибири также поступает нефть со сравнительно большим количеством нафтенов.

В румынской нефти этих кислот тоже достаточно много (от 0,05 до 2,4 %). А вот в американской сырой нефти – пенсильванской и калифорнийской – находится весьма незначительное количество нафтеновых кислот. Потому-то американская строительная индустрия практически и незнакома со строительными химическими добавками на основе нафтеновых кислот. У них нашли широчайшее применение добавки на основе смоляных кислот (типа микропенообразователя Винсол), которые, как было рассмотрено ранее, непригодны для производства гидрофобизированных цементов из-за повышенного воздухововлечения, вредного для тяжелых бетонов.

Основным промышленным источником получения нафтеновых кислот являются щелочные отходы, образующиеся при очистке дестиллятов нефти, в особенности солярового и других высококипящих погонов. Эти отходы называют мылонафтом. Мылонафт содержит до 50% воды. Из него получают безводный асидол, то есть технические нафтеновые кислоты, которые удобнее перевозить и хранить, чем мылонафт.

Молекулярный вес нафтеновых кислот чаще всего лежит в пределах 155–230. Удельный вес – от 0,930 до 1,09. Температура кипения при обычном давлении – 215–300 °С, поэтому при гидрофобизации даже очень горячего клинкера не происходит существенного испарения добавки. Температура застывания нафтеновых кислот весьма низкая, обычно около –70–80 °С. По этой причине в зимних условиях удобнее применять незамерзающий асидол, чем мылонафт, в котором происходит вымораживание воды и расслоение смеси на лед и нафтеновые кислоты.

Нафтеновые кислоты не действуют на металлический алюминий. Металлическое железо в ничтожно малой степени растворяется в свободных нафтеновых кислотах, придавая им слабую красно-бурю окраску, но совершенно не поддается действию мылонафта. При взаимодействии с цементом нафтеновые кислоты, а также мылонафт образуют кальциевые и другие соли, не реагирующие с железом.

К группе нафтеновых кислот иногда ошибочно относят и нефтяные сульфокислоты, так как в некоторых отраслях промышленности эти материалы являются взаимозаменяемыми. Нефтяные сульфокислоты, как и мылонафт, тоже получают при химической очистке нефтяных дистиллятов. Однако нефтяные сульфокислоты, известные под названием «контакт Петрова» и состоящие из собственно сульфокислот, воды, масла и небольшого количества серной кислоты, для производства гидрофобного цемента не применяются, потому что щелочные (а также и щелочно-земельные) соли сульфонафтеновых кислот в водном растворе дают обильную пену. На этой их особенности, кстати, базируется производство пенообразователей для пенобетона.

Из **жирных кислот** в производстве гидрофобного цемента могут найти применение технические кислоты, получаемые как из животных жиров, так и растительных масел, а также промышленные отходы, в которых содержатся те или иные высшие жирные кислоты.

Животные жиры включают главным образом стеариновую, пальмитиновую и олеиновую кислоты в виде смесей их триглицеридов. Встречаются также глицериды лауриновой, масляной и других кислот. В некоторых жирах, например в китовой ворвани, бывают свободные жирные кислоты. Наряду с глицеридами они содержатся и в шерстяном жире.

При всем многообразии масличных растений, произрастающих в наших климатических условиях, в растительных маслах преобладающее значение имеют всего пять основных жирных кислот: олеиновая, линолевая, линоленовая, пальмитиновая и стеариновая. В ряде растительных масел содержатся и другие высшие жирные кислоты, например рициноловая, эруковая, арахидовая, тоже являющиеся хорошими гидрофобизирующими добавками, но их малая распространенность в природе не позволяет рассматривать эти вещества в качестве строительных добавок.

Для изготовления гидрофобного цемента наиболее пригодны те индивидуальные жирные кислоты или содержащие их промышленные продукты или отходы, которые при нормальной комнатной температуре имеют жидкую или вязкожидкую консистенцию. В первую очередь всем этим требованиям отвечает олеиновая кислота – именно на ее использование и делался акцент ранее.

С развитием нефтехимии все большее значение для производства гидрофобного цемента стали приобретать синтетические жирные и нефтяные кислоты. Их изготавливают из парафинов и жидких углеводородов нефти. При окислении парафина получаются кислоты, по своему строению близкие к жирным. При окислении же керосина и высших фракций (погонов) нефти в основном получают кислоты циклического строения.

Благодаря успехам нефтехимии синтетические жирные кислоты (СЖК) достаточно легко удается получать в фракционированном виде – это очень важно для направленного управления теми или иными технологическими качествами цементов. Подбирая ту или иную фракцию СЖК, можно хоть и в небольших пределах, но направленно управлять дисперсностью и проявлением гидрофобного эффекта цементов различного минералогического состава, пластично-вязкими и эксплуатационными свойствами бетонов и растворов.

7.6 Химические свойства веществ, из которых состоят гидрофобные пленки на цементных зернах

Состав веществ, из которых можно сформировать гидрофобные пленки на цементных зернах, экспериментальному исследованию не подвергался, но о характере и химических свойствах этих новообразований можно судить на основании имеющихся сведений об общих свойствах ряда химических веществ, применяющихся для целей гидрофобизации – нафтеновых, смоляных и жирных кислот.

Нафтеновые, а также жидкие жирные кислоты и водорастворимые их соли реагируют главным образом с окисью кальция, содержащейся в цементе. Для нейтрализации этих кислот или для обменных реакций с их солями требуется всего лишь сотые доли процента окиси кальция, считая от веса цемента, то есть гидрофобизирующие добавки способны взаимодействовать с клинкерной частью практически любого цемента, независимо от его химико-минералогического состава.

Свойства металлических и в том числе кальциевых мыл, при обычных методах исследования получаемых в водном растворе путем двойного обмена щелочных мыл и окислов металлов и их солей, хорошо изучены – вся индустрия мыловарения зиждется на этих исследованиях.

Но металлические мыла, образующиеся при недостаточном количестве воды или в почти безводной среде, как это происходит при получении гидрофобного цемента, могут иметь несколько иной характер, чем полученные обычным путем в присутствии воды. Но с известной степенью приближения можно считать, что описываемые ниже свойства индивидуальных металлических мыл характерны и для соответствующих солей, образующихся в цементных системах.

Кальциевые мыла высших жирных кислот жирны на ощупь, не смачиваются водой, имеют белый цвет. Чистый олеат кальция плавится при температуре $+83-84^{\circ}\text{C}$, а линолеат кальция – при $+71^{\circ}\text{C}$. Мыла ненасыщенных жирных кислот пасто- или мазеобразны.

Кальциевые соли низших жирных кислот, кончая капринатом и лауратом кальция, еще немного растворимы в большом количестве горячей воды, а высшие мыла вообще лишены этой способности.

Магниевые мыла высших жирных кислот тоже практически нерастворимы.

Кальциевые и другие металлические мыла высших жирных кислот в воде не набухают и, следовательно, из-за отсутствия способности давать соединения с водой не могут образовывать гидрогелей. Лишь при очень сильном разбавлении, например в 2–4-процентном водном растворе, значительная часть кальциевого мыла является коллоидно-растворенной. В присутствии защитных коллоидов, подобных желатине, стабильность коллоидного раствора кальциевого мыла жирной кислоты повышается – такой раствор не осаждается.

Кальциевые мыла в коллоидном состоянии понижают поверхностное натяжение приблизительно вдвое слабее, чем соответствующие натровые мыла. Стеарат кальция почти совсем не изменяет поверхностное натяжение воды, поэтому его и нельзя отнести к поверхностно-активным добавкам.

При двойном обмене натровых нафтенowych мыл с растворами солей получают полутвердые массы (в случае кальция, магния, бария и алюминия) или мягкие липкие массы (соли железа, меди, цинка, свинца) всегда с довольно большим содержанием воды. Для нафтенатов алюминия характерны пластично-эластичные свойства. Нафтенаты хрома считаются хорошими адгезивами.

Кальциевые мыла нафтенowych кислот дают весьма однородную и вязкую консистентную смазку, которая в смеси с минеральными маслами иногда применялась для защиты частей машин, а также оружейных стволов от ржавления. Нафтенаты вообще применяют в качестве ингибиторов (веществ, замедляющих химические реакции) в составах, предохраняющих железо от коррозии. Следует отметить, что указанная выше консистентность кальциевых нафтенатов сохраняется только при наличии воды, а после высыхания кальциевые соли нафтенowych кислот становятся твердыми.

Таким образом, в общих случаях изготовления гидрофобного цемента защитные пленки на его зернах состоят из водонерастворимых и обладающих

водоотталкивающими свойствами кальциевых солей нефтяных или жирных кислот.

7.7 Интенсификация помола цемента при использовании гидрофобизирующих добавок

Цементный клинкер – это поликристаллическое упругое твердое тело, состоящее из 75–82% минералов силикатов и 18–25% минералов-плавней. Эти минералы имеют различную хрупкость и, следовательно, размалываемость.

Процесс размола клинкера и получение в результате цемента можно разделить на три этапа.

На первом этапе работа измельчения до удельной поверхности 1200–1500 см²/г пропорциональна вновь получаемой поверхности измельчаемого материала. Клинкер разрушается по слабым местам, дефектам структуры.

На втором этапе, характеризуемом приростом удельной поверхности от 1200–1500 до 2300–2700 см²/г, сопротивляемость размолу увеличивается. Размолоспособность клинкера на этом этапе зависит от его микроструктуры: размеров, формы, характера срастания кристаллов, количественного содержания стеклофазы и т. д.

На третьем этапе линейная зависимость между энергозатратами на помол и приростом удельной поверхности смалываемого тела нарушается. Прирост удельной поверхности свыше 2700 см²/г становится достижим только путем противодействия явлениям налипания и агрегатирования, лавинообразно развивающимися при столь тонком помоле.

При таком тонком измельчении клинкера мельчайшие частички размолотого цемента довольно прочным слоем налипают на мелющие тела и внутренние поверхности мельниц, а также агрегируют друг с другом с образованием комочков, чешуек и пластинок. Эти условия настолько резко ухудшают условия помола клинкера, что дальнейшее измельчение становится просто экономически нецелесообразным.

Существовавшая в 50-60-х годах практика домола цемента на местах с использованием вибрационных и шаровых мельниц именно потому и не прижилась, что энергозатратность такого дополнительно измельчения цемента превышала потенциальную выгоду от использования высокомарочных цементов. Существенную помощь в технологии домола на местах рядовых цементов способны оказать интенсификаторы помола. И в первую очередь – гидрофобизирующие добавки.

Полезное действие гидрофобизирующих (равно как и пластифицирующих и гидрофобно-пластифицирующих ПАВ) проявляется прежде всего при

помоле цемента. Как известно, с увеличением дисперсности цемента возрастает его активность, что дает возможность уменьшить удельный расход цемента при изготовлении бетонов заданной прочности. Кроме того, интенсификация помола способствует экономии электроэнергии и повышению производительности оборудования. Одновременно снижается износ металла мелющих тел и сокращаются цеховые расходы. В связи с этим использование добавок, интенсифицирующих помол цементного клинкера, имеет большое практическое значение.

Имеющийся опыт показывает, что применение добавок ПАВ позволяет либо увеличить производительность мельниц, либо повысить дисперсность цемента при обычной производительности мелющего оборудования. Причем в ряду известных добавок, интенсификаторов помола (триэтаноламин, этиленгликоль и др.), гидрофобизирующие и гидрофобно-пластифицирующие отличаются не меньшей, а иногда большей эффективностью.

Интенсификация помола цемента в присутствии ПАВ вызывается совокупностью ряда причин, из которых необходимо отметить главные: предотвращение агрегирования мелких частиц, увеличение насыпной массы размалываемого продукта, а также адсорбционное понижение твердости мелющихся продуктов (эффект П. А. Ребиндера).

Многолетними исследованиями установлено, что измельчение продуктов в мельницах (и в первую очередь в шаровых и вибромельницах) неизбежно сопровождается противоположным по своему характеру процессом агрегирования мелких частиц. Под микроскопом отчетливо различимы скопления частиц, тесно слипшихся одна с другой. Такие мелкие комочки принято называть флоккулами.

Чем мельче становится продукт в работающей мельнице, тем больше получается флоккул. Происходит также образование наслоений – подушек из слипшихся частиц на мелющих шарах и стенках мельницы. При этом возникают непроизводительные, холостые удары шаров, что снижает эффективность процесса помола и увеличивает его энергоемкость. Вместе с тем усиливается работа трения; часть механической энергии, затрачиваемой на помол, переходит в тепловую, что вызывает повышение температуры размалываемого цемента. В целом производительность мельницы снижается.

Существует популярное у бетонщиков выражение: агрегирование – злейший враг процесса помола. К тому же флоккулы, находясь в готовом цементе, не разрушаются под действием воды затворения, а поэтому ухудшают равномерность распределения цемента и полноту его использования в бетоне.

Предложены две гипотезы для объяснения причин агрегирования диспергируемых твердых частиц и их налипания на другие тела: контактная электризация и различие в проявлении молекулярных сил на поверхности и в глубине продуктов помола. Не объясняя исчерпывающе полно сути явления агрегиро-

вания, обе эти гипотезы, тем не менее, рекомендуют одинаковый способ нейтрализации проблемы – адсорбция и/или хемсорбция тонких (мономолекулярных или сходных по толщине) слоев ПАВ на плоскостях, обнажающихся на мелимых веществах.

Увеличение насыпной массы размалываемого цемента под действием ПАВ позволяет также существенно повысить производительность мельниц и за счет увеличения массы находящегося в мельнице мелющегося материала.

При помолу цемента с добавками ПАВ физико-химические свойства поверхности его частиц изменяются таким образом, что уменьшается адгезия между отдельными частицами, и гидрофобизированный цемент укладывается плотнее, чем обычный, иначе говоря, мельница вмещает большее количество продукта. Этот фактор способствует интенсификации помола – повышению выхода размолотого цемента при данном соотношении массы мелющих тел и объема материала в мельнице и не меняющемся расходе электроэнергии. Следовательно, на определенных стадиях процессов диспергирования цемента полезное действие ПАВ может сказаться не только в дефлокулирующем их действии (см. выше), но и в увеличении насыпной массы продукта, находящегося в мельнице.

Молекулы ПАВ, попадая в микротрещины мелимого тела при его диспергировании, оказывают расклинивающее действие, тем самым способствуя повышению эффективности помола. Адсорбирующиеся молекулы или ионы проникают из окружающей среды на значительную глубину в деформируемую зону твердого тела по многочисленным микрощелям, появляющимся в процессе деформации. Чем выше напряжения, возникающие в твердом теле при его деформации, тем сильнее будет эффект адсорбционного понижения твердости.

В работах основоположника мировой школы адсорбционного понижения твердости под влиянием ПАВ, академика П.А. Ребиндера и его школы, отмечается, что адсорбционные прослойки оказывают активное раздвигающее действие во всех наиболее узких участках клиновидных щелей, куда только эти прослойки мономолекулярных размерностей могут проникать. После снятия внешних усилий происходит затруднение или, во всяком случае, замедление смывания зародышевых участков микрощелей под влиянием адсорбционных слоев. Усилению эффекта понижения твердости тел способствует наибольшая разность полярностей на поверхности раздела, обусловленная полярным строением молекул ПАВ.

Благоприятное влияние добавок ПАВ на помол цемента объясняется тремя приведенными выше факторами. Трудно установить, какой из них является преобладающим. Несомненным остается одно – в зависимости от выбора вида ПАВ и его дозировки удастся существенно повысить эффективность помола.

В этом плане добавка в мельницу в процессе помола такого распространенного и дешевого отхода нефтехимической промышленности, как синтетические

жирные кислоты (*СЖК*) либо их кубовых остатков (*КОСЖК*), наиболее оправданно как с технической, так и с экономической точки зрения.

Менее предпочтительными являются добавки других гидрофобизирующих добавок – природных жирных кислот и нафтеновых кислот. Прежде всего из-за их сравнительно большей стоимости по сравнению с *СЖК* и *КОСЖК*.

Сравнительный анализ различных добавок интенсификаторов помола, традиционно применяющихся в цементной промышленности, показывает, что в ряду различных интенсификаторов помола на первом месте стоят гидрофобные добавки (см. *таблицу 7.7-1*).

7.8 Предотвращение потери активности цемента при перевозках и хранении

Известно, что высокомарочные цементы теряют свою активность при хранении. Так, например, цементы марок «400» и «500» теряют за 3–6 месяцев хранения до 30 % активности. Еще более значительными могут быть потери активности при хранении высокомарочных тонкомолотых и быстротвердеющих цементов. Вследствие этого их начальные высокие характеристики не могут быть полностью реализованы на местах.

Для повышения сохранности цемента при хранении и перевозках его стараются максимально возможно защищать от атмосферной углекислоты и влаги – упаковка в специальные битуминизированные многослойные мешки, металлические барабаны, особой конструкции силосы и контейнеры и т. д.

Существуют и другие способы. На крупном строительстве в районе Панамского канала, где период дождей длится 8 месяцев и относительная влажность воздуха зачастую достигает 100 %, внутреннюю поверхность цементных силосов покрывали специальной алюминиевой краской, которая уменьшала конденсацию влаги. Все швы промазывали битумными составами. Используемый для аэрации и транспортировки цемента воздух проходил обязательное осушение.

Более простым и дешевым способом предотвращения потери активности цемента при хранении и транспортировке является его гидрофобизация.

Этот метод широко практиковался в СССР. Особенно при доставке цемента в районы Западной и Восточной Сибири. Нередко цемент возили вообще навалом в открытых баржах. На месте выгрузки воду, скопившуюся на поверхности цемента от дождей, откачивали, а цемент использовали по назначению. Неоднократно отмечались случаи, когда по тем или иным причинам баржи, не успевшие в срок доставить цемент к месту разгрузки, оставляли на зимовку среди льдов – весной отмечалась только незначительная порча верхнего слоя цемента.

Наименование добавки – интенсификатора помола	Дозировка в % от веса клинкера	Группа по степени интенсификации помола клинкера	Остаток на сите 4900 отв./см ² в % к контрольным
Асидол-мылонафт	(0,1); 0,2	1-а	2,7–34
Мылонафт	0,2		
Олеиновая кислота	0,1		
Композиция: 0,05 % олеиновой кислоты и 0,1 % мылонафта	–		
Тальк	7,0	1-б	
Пластимент СПА	0,5		
Отходы рыбной промышленности «фузы»	0,3		
Лигносulfонат технический		2	35–64
ЛСТ (термополимер)	(0,1); 0,2; 0,25		
Лигносulfонат технический ЛСТ (жидкость)	(0,1); 0,2; 0,25; 0,3		
Композиция: 0.05% мылонафта и 0,1% ЛСТ (жидкость)	–		
Керосиновый контакт	0,2		
Рыбий жир	0,1		
Кислый гудрон	0,2		
Битумозный песчаник	0,4	3	79–88
Деготь каменноугольный газовый	0,3		
Горючий сланец	0,35; 0,5; 0,7		

Примечание:

В скобках указаны дозировки добавок, интенсификаторов помола, не являющиеся оптимальными

Таблица 7.7-1

При совместном помоле (домоле) цемента с гидрофобизирующей добавкой на зернах цемента образуются оболочки из ориентированных крупных асимметричных молекул гидрофобизирующей добавки. Это было экспериментально установлено измерением краевого угла смачивания.

Толщина такого слоя очень мала, и в оптимальном случае равна толщине одной молекулы гидрофобизирующей добавки. При длине молекулы одного из типичнейших представителей гидрофобизирующих веществ, олеиновой кислоты, $1,1 \times 10^{-7}$ см и среднем диаметре цементных зерен 5×10^{-3} см отношение толщины гидрофобной пленки к величине цементного зерна составляет $0,2 \times 10^{-4}$ см. Примерно во столько же раз толщина спички меньше высоты 25-этажного здания.

Гидрофобные оболочки, образующиеся на цементных зернах, изолируют их от проникновения капельно-жидкой воды. Однако через них могут свободно

проникать водяные пары и углекислый газ, правда, в ограниченном количестве. Так, например, гидрофобизированные цементы при 3–6-месячном хранении в атмосфере, насыщенной водяным паром, увеличиваются в весе в среднем на 2–3%, в то время как у обычных цементов привес обычно составляет до 20%. При этом увеличение содержания углекислого газа в гидрофобном цементе выражается сотыми или десятymi долями процента, а у обычных цементов соответствующие значения в 8–12 раз больше.

Подробное изучение указанных особенностей гидрофобного цемента, а также соответствующие теоретические расчеты привели к выводу, что защитные оболочки на цементных зернах не сплошные, а имеют прерывистое – сетчатое или мозаичное строение.

Моделью-аналогией такого слоя служит сетка из металлической или иной ткани, покрытой парафином. Сквозь отверстия этой сетки пары воды и углекислый газ проходят, а капельно-жидкая вода задерживается, так как в данном случае краевой угол больше 90° , то есть вода не смачивает парафинированную ткань. Можно также привести сравнение с тончайшим слоем жировой смазки, предохраняющей от намокания оперение водоплавающих птиц.

Способность тел поглощать влагу из воздуха называют гигроскопичностью. Но по отношению к цементу этот термин можно применять лишь условно. Под гигроскопичностью, в обычном понимании, подразумевается поглощение телом влаги. Причем это обратимый процесс: при снижении давления водяных паров ранее поглощенная влага способна испаряться.

В случае же с цементом поглощенная за счет гигроскопичности влага принимает активное участие в химическом реагировании с клинкерной частью цемента, расходуется в этих реакциях (необратимо портит цемент) и уже не возвращается в окружающую среду при соответствующих условиях.

Поглощение водяного пара цементным порошком представляет собой сложный процесс. Здесь происходит не только адсорбция влаги в чистом виде, но и капиллярная конденсация, а также химическое взаимодействие с цементом. К тому же в результате гидролиза и гидратации клинкерных минералов получаются новообразования, гигроскопичность которых имеет другие значения, чем у не прореагировавших частиц цемента.

Процесс поглощения водяных паров из воздуха и взаимодействия их с цементом можно разделить на несколько связанных друг с другом фаз.

Первая фаза – сорбция паров воды водорастворимыми составляющими цемента. При этом на поверхности цементных частиц образуется слой насыщенного водного раствора. Давление паров этого раствора обычно меньше, чем давление паров воды, насыщающих наружный воздух, а также воздух, находящийся в промежутках между зернами цемента. На динамику гигроскопического поглощения влаги на этом этапе влияют многие условия, главным образом

относительная влажность воздуха, температура воздуха и цемента, удельная поверхность цемента и его химико-минералогический состав, скорость диффузии водяного пара через неподвижные пленки воздуха, окружающие цементные частички, и, следовательно, степень уплотнения цементного порошка и наличие конвекционных токов влажного воздуха. Кроме того, большое значение имеет изначальная степень сухости минерального порошка (цемента), так как при высушивании удаляются адсорбированные пары и газы и порошок гидрофилизуется.

Вторая фаза – капиллярная конденсация, то есть постепенное превращение пара в жидкость в капиллярах. Как только в капиллярах конденсируется жидкость, в них появляются мениски. Когда стенки капилляров смачиваются водой, упругость пара над менисками становится меньше, чем над свободной поверхностью. Если же стенки гидрофобны, то получается обратная зависимость. Вогнутость (обычный цемент) или выпуклость (гидрофобизированный цемент) мениска жидкости в порах, соответственно, способствует конденсации водяных паров или затрудняет ее. По мере повышения давления пара в пространстве над гидрофобным сорбентом конденсация пара происходит все в более и более крупных порах. Максимальной величине сорбции, соответствующей насыщенному пару, отвечает заполнение жидкостью объема всех пор сорбента.

Третья фаза – химическое взаимодействие поглощенной влаги с цементом. Этот процесс весьма длителен и может продолжаться до полного израсходования клинкерной части в цементе.

Все эти три фазы практически накладываются одна на другую. Капиллярная конденсация пара неразрывно связана с его адсорбцией, а от степени конденсации влаги зависят процессы гидратации клинкерных минералов в хранящемся цементе.

Экспериментальное определение сорбции водяного пара на цементах при относительной влажности 100 % и 75 % отражено ниже (см. *таблицы 7.8-1 и 7.8-2* соответственно).

Очень интересны также результаты экспериментального определения оптимальных дозировок гидрофобизирующих добавок трех различных классов: жирные кислоты (олеиновая кислота), смоляные кислоты (канифольное мыло) и нафтеновые кислоты (мылонафт) на примере эксперимента, сведенного в таблицу (см. *таблицу 7.8-3*).

При гидрофобизации цемента его гигроскопичность резко снижается. Ориентированное расположение крупных асимметрично-полярных молекул гидрофобизирующих ПАВ, обращенных углеводородными радикалами наружу, способствует образованию гидрофобных оболочек на цементных зернах. Благодаря этому гидрофобизированные цементы практически не слеживаются даже при очень длительном хранении.

Вид цемента, подвергнутого испытанию	Сорбция водяного пара различными видами цемента при влажности 100%, через время (сутки)															
	1	2	3	6	10	13	18	23	30	40	50	65	80	90	100	200
Обычный (контроль)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
то же, но гидрофобизированный 0,2% канифоляного мыла	8,0	8,5	10	11,0	14,5	15,7	15,8	15,7	14,9	16,4	18,1	22,2	22,0	21,2	25,0	40
то же, но гидрофобизированный 0, 2% мылонафта	8,0	11,3	15,6	14,0	16,3	26,0	34,8	34,0	33,5	35,0	38,4	38,6	41,0	40,0	38,0	42
то же, но гидрофобизированный 0,2% олеиновой кислоты	8,0	7,0	8,0	9,0	13,0	16,5	18,0	19,0	20,5	22,4	23,4	25,5	24,8	27,0	29,0	32

Примечание:
За 100% принято увеличение веса образцов контрольного цемента

Таблица 7.8-1

Вид цемента, подвергнутого испытанию	Сорбция водяного пара различными видами цемента при влажности 100%, через время (сутки)												
	1	2	3	9	12	18	22	30	60	70	85	100	200
Обычный (контроль)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
то же, но гидрофобизированный 0,2% канифольного мыла	23,3	30,6	29,2	32,8	36,0	39,4	42,0	53,0	61,5	61,5	58,0	40	34
то же, но гидрофобизированный 0,2% мылонафта	13,2	8,0	4,5	9,5	10,4	11,8	11,2	15,0	15,0	15,0	13,5	7,4	6,1
то же, но гидрофобизированный 0,2% олеиновой кислоты	18,5	15,8	12,5	21,2	22,6	23,0	23,0	28,6	23,0	21,7	21,0	13,7	18,5

Примечание:
За 100% принято увеличение веса образцов контрольного цемента

Таблица 7.8-2

Вид цемента, подвергнутого испытанию	Сорбция водяного пара в зависимости от дозировки и вида гидрофобизирующих добавок при влажности 75%, через время (сутки)															
	1	2	3	6	10	13	18	23	30	40	50	65	80	90	100	200
Обычный (контроль)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
то же, но гидрофобизированный 0,100% олеиновой к-ты	8,0	7,0	8,0	9,0	13,0	16,5	18,0	19,0	20,5	22,4	23,4	25,5	24,8	27,0	29,0	31,3
то же, но гидрофобизированный 0,050% олеиновой к-ты	8,8	12,7	27,6	24,0	31,6	35,8	40,0	45,0	51,5	56,5	62,0	64,0	65,1	66,0	68,0	69,0
то же, но гидрофобизированный 0,025% олеиновой к-ты	14,4	18,3	24,9	36,0	48,0	54,5	62,5	66,0	69,5	74,5	77,0	79,5	80,5	80,5	85,0	86,5
то же, но гидрофобизированный 0,010% олеиновой к-ты	18,0	26,2	37,6	63,5	78,0	65,5	75,0	75,5	75,5	79,0	80,0	81,0	84,0	84,5	88,0	83,0
то же, но гидрофобизированный 0,20% каниф. мыла	8,0	8,5	10,0	11,0	14,5	15,7	15,8	15,7	14,9	16,4	18,1	22,2	22,0	21,2	25,0	40,0
то же, но гидрофобизированный 0,10% каниф. мыла	11,3	25,1	21,0	28,0	32,0	36,0	36,5	???	40,0	47,0	50,0	54,0	52,0	???	56,0	60,0
то же, но гидрофобизированный 0,05% каниф. мыла	23,0	24,0	31,0	41,0	61,0	58,0	57,5	60,0	65,0	68,0	71,0	74,0	72,0	72,0	77,0	72,0
то же, но гидрофобизированный 0,02% каниф. мыла	16,0	29,6	34,0	46,0	57,0	65,0	70,0	74,0	77,0	78,0	81,0	81,0	82,5	82,5	86,5	81,0
то же, но гидрофобизированный 0,20% мылонафта	8,0	11,3	15,6	14,0	16,3	26,0	34,8	34,0	33,5	35,0	38,4	38,6	41,0	40,0	38,0	43,0
то же, но гидрофобизированный 0,10% мылонафта	8,8	17,0	23,4	29,0	39,0	44,4	49,0	51,0	51,5	53,0	57,0	55,0	57,0	57,5	60,0	58,0
то же, но гидрофобизированный 0,05% мылонафта	14,4	26,8	31,0	41,0	54,5	63,5	71,5	72,5	75,5	77,5	83,0	83,0	84,0	84,0	85,0	80,0

Примечание:
За 100% принято увеличение веса образцов контрольного цемента

Таблица 7.8-3

Гидрофобизированные цементы заводского изготовления, содержащие в качестве добавки-гидрофобизатора 0,2 % мылонафта или 0,1 % олеиновой кислоты, хранились в завязанных бумажных мешках в неотапливаемом складском помещении с деревянным полом. Мешки были уложены в два ряда по высоте (без прокладок). Кроме обычных четырехслойных мешков, была и «двойная» тара – один бумажный мешок вкладывался во второй. В акте о состоянии цементов через год хранения указывалось, что контрольный (обычный) цемент слежался во всех мешках (т.е. «двойная» тара практически не способна защитить цемент от слеживания). Гидрофобизированный же цемент во всех мешках сохранил сыпучесть, комки в нем отсутствовали.

Немного позже провели более точную экспериментальную проверку степени слеживаемости трех видов цементов, различного минералогического состава: алитово-браунмиллеритовый (Б-2), алитовый (Щ-2), менее алитовый (КО). Гидрофобизацию этих цементов осуществляли в лабораторной мельнице с применением различных гидрофобизирующих (олеиновая кислота, мылонафт, асидол-мылонафт, канифольное мыло, окисленный парафин), гидрофолизирующе-пластифицирующих (технические лигносульфонаты – ЛСТ) и гидрофобно-пластифицирующих (мылонафт + ЛСТ, асидол-мылонафт + ЛСТ) добавок (см. таблицу 7.8-4).

Эти и другие производственные наблюдения, а также лабораторные опыты убедительно показывают, что гидрофобизированный цемент не слеживается при хранении как в мешках, так и навалом. Даже через год хранения гидрофобизированные цементы сохраняют до 96–97 % своей сыпучести, в то время как у контрольных цементов доля пришедшего в негодность цемента составляет 60–85 %.

Мало того, даже при непосредственном контакте с водой гидрофобизированный цемент не портится. Так, заводской гидрофобизированный цемент, приготовленный с добавкой 0,1 % олеиновой кислоты, был затарен в джутовые мешки и погружен на 8 дней в воду – цемент не увлажнился и остался сыпучим. При перевозке гидрофобизированного цемента на автомашине под проливным дождем на расстояние 40 км бумажные мешки, куда он был насыпан, полностью размокли – цемент оказался под слоем воды, но свою сыпучесть полностью сохранил.

В конечном итоге улучшение хранимости гидрофобизированных цементов выливается в столь же значительное улучшение характеристик бетонов, получаемых из них, и в первую очередь – прочностных показателей. Практическим подтверждением сказанному может служить следующий эксперимент, проведенный по ускоренному методу. Цемент, распределенный слоем в 15 см на противне выдерживался 90 суток при относительной влажности воздуха около 80 % и температуре +19–21 °С. В совершенно идентичных условиях находился и цемент, гидрофобизированный добавкой мылонафта. Оба образца цемента, как обычный, так и гидрофобизированный, были получены из одного клинкера и при одинако-

Вид цемента по минералогическому составу от вида примененной добавки	Количество пришедшего в негодность (скомокавшего) цемента в %,								
	Без добавок (контроль)	Гидрофобизирующие добавки					Гидрофобно-пластифицирующие добавки		Гидрофобизирующие пластифицирующие добавки
		Олеиновая кислота 0,1 %	Мылонафт 0,2 %	Канифольное мыло 0,2 %	Асидол-мылонафт 0,1 %	Окисленный паранфин 0,1 %	Мылонафт 0,05% + ЛСТ 0,015 %	Асидол-мылонафт 0,1% + ЛСТ 0,1 %	
Щ-2 – 100 дней хранения навалом при влажности 75 %	85,0	1,0	1,0	3,0	–	–	–	–	–
КО – 1 год хранения в мешках при влажности 65–75 %	60,0	–	–	–	3,0	–	23,5	–	54,4
Б-2 – 1 год хранения в мешках при влажности 65–75 %	57,8	–	–	–	–	3,6	–	28,0	57,6

Примечание:
Знак «-» обозначает, что в данной комбинации эксперимент не проводился

Таблица 7.8-4

Вид цемента, подвергнутого испытанию	Предел прочности МПа							
	При сжатии, через (суток)				При изгибе, через (суток)			
	3	7	28	90	3	7	28	90
Обычный (контроль)	6,9	13,8	21,5	23,3	1,51	2,23	2,90	3,64
То же, но гидрофобизированный (0,1 % мылонафта)	15,7	26,7	41,4	45,2	3,55	5,0	6,06	6,72

Таблица 7.8-5

Вид цемента, подвергнутого испытанию	Предел прочности кг/см ²					
	При сжатии, через (суток)			При растяжении, через (суток)		
	7	28	90	7	28	90
Обычный (контроль)	142	237	315	11.7	21.6	27.1
То же, но гидрофобизированный с 0,1 % олеиновой кислоты	284	394	514	21.1	33.6	38.4
То же, но гидрофобизированный с 0,2 % «фузов» (жиросодержащие отходы рыбной промышленности)	240	377	444	17.2	27.2	28.2

Таблица 7.8-6

вых режимах помола. Данный метод определения сохранности цемента является очень жестким, поскольку на практике цементы никогда не хранятся столь тонким слоем. Результаты эксперимента отражены в *таблице 7.8-5*.

Другой эксперимент имитировал натурные условия, самый неблагоприятный случай хранения цемента М400, тарированного в мешки: привезли и оставили в сыром подвале на 6 месяцев. (Данный эксперимент ближе отечественной ментальности, а результаты куда как доходчивей, чем какие-то экспериментирования «на противнях».)

После полугодичного пребывания в сыром подвале обычного и гидрофобизированного цемента были получены результаты, отраженные в *таблице 7.8-6*.

Анализ этих таблиц показывает, что прочность образцов, изготовленных из лежалого, но обычного цемента, была во все сроки испытания в среднем в 2 раза меньше, чем прочность образцов из точно такого же цемента, но гидрофобизированного.

7.9 Эффект автоактивизации гидрофобизированных цементов при хранении

Первые случаи автоактивизации были установлены у цементов, полученных помолом клинкера в шаровых мельницах лабораторного типа в присут-

ствии гидрофобизирующих добавок после их длительного хранения в обычных условиях.

Интерес к этому явлению был настолько велик, что его подвергли очень серьезной проверке в производственных условиях – при изготовлении, хранении и гидрофобизации цементов. Требовалось точно установить возможность реализации эффекта автоактивизации гидрофобизированных цементов в производственных условиях.

С этой целью систематически проводились наблюдения за изменением активности средних проб из четырех партий гидрофобных цементов (в каждой партии было от 500 до 3100 т цемента), изготовленных на разных заводах из разнохарактерных клинкеров. Клинкер завода: *Вл* – высокоалитовый, *Бо* – алитово-браунмиллеритовый, *Г* – с повышенным содержанием алюминатов, *П* – магнезиальный (около 6 % окиси магния) с содержащим много четырехкальциевого алюмоферита. В первых трех цементах было от 12 до 15 % гидравлических добавок.

Все средние пробы, каждая весом по 150–300 кг, а также соответствующие контрольные, обычные заводские цементы, полученные из тех же клинкеров, хранились в не завязанных стандартных бумажных мешках в отапливаемом помещении при относительной влажности воздуха 60–65 %.

Во всех случаях после нескольких месяцев хранения гидрофобизированных цементов отмечалось самопроизвольное и устойчивое повышение их активности (см. *таблицу 7.9-1*).

Таким образом, проведенные исследования показали, что гидрофобизированные цементы всех четырех заводов обнаружили автоактивизацию, выразившуюся в 5–12 %, а в одном случае даже 70 %. Обычные контрольные цементы тех же заводов, как и следовало ожидать, частично скомковались (средний процент комков через 10 месяцев хранения составлял около 30 %) и активность их значительно снизилась. Следует отметить, что нормальная густота контрольных цементов за время хранения повысилась. А у гидрофобных осталась без изменения.

Мало того, цемент завода *П*, гидрофобизированный олеиновой кислотой, вновь испытали после дополнительных 18 месяцев выдерживания (в общей сложности он хранился 4 года). К этому времени контрольный цемент полностью превратился в камень, а гидрофобизированный остался сыпучим. При его испытании, в возрасте 28 суток, он показал прочность на сжатие 490 кг/см^2 – в 1,7 раза выше, чем у него было сразу после изготовления. Достигнутый эффект автоактивизации и далее, на протяжении полутора лет наблюдений, сохранился почти полностью.

Проведенные исследования показали, что, несмотря на различие химико-минералогического состава, а также рода и количества введенных минеральных (гидравлических) добавок, во всех четырех гидрофобизированных цементах,

Условное обозначение заводской партии	Вид примененной гидрофобизирующей добавки	Размер партии гидрофобизированного цемента, из которого проводился отбор проб, т	Срок хранения цемента, месяцев	Активность цемента при сжатии через 28 суток нормального хранения, кг/см ²		Самопроизвольное повышение активности, %
				свежего	лежалого	
Вл	Мылонафт	2500	10	490	515	+5
Бо	Мылонафт	3100	11	525	590	+12
Г	Мылонафт	3000	15.5	450	495	+10
П	Олеиновая кислота	500	30	300	510	+70
П	Без добавок (контроль)	500	30	290	95	- 67

Таблица 7.9-1

полученных с разных заводов, самопроизвольно развивался процесс повышения активности цементного порошка при хранении.

Явление автоактивизации наблюдалось не только в цементах, изготовленных из разнохарактерных по своему составу рядовых клинкеров, типичных для многих заводов, но также и в портландцементе специальных видов, например из сульфатостойкого и кремнеземистого клинкеров, хранившихся при относительной влажности среды до 90 %.

Самопроизвольное повышение активности оказалось еще более четко выраженным при испытании цемента, изготовленного путем смешивания обычного портландцемента с гидрофобизирующими добавками (мылонафтом и натровым канифольным мылом) в лабораторной шаровой мельнице. В лабораториях строительства, где приходилось испытывать лежалый гидрофобный цемент, иногда тоже наблюдалось самопроизвольное повышение его активности. Таким образом, можно заключить, что явление автоактивизации гидрофобизированных цемента имеет достаточно общий характер.

Из числа применяемых добавок олеиновая кислота дает лучшие результаты, чем мылонафт, так как она, будучи индивидуальным высокомолекулярным соединением, образует более качественный адсорбционный защитный слой, чем смесь нефтяных кислот, содержащихся в мылонафте.

Чем же вызываются процессы автоактивизации, и почему они практически протекают только в цементах, зерна которых имеют гидрофобизирующие оболочки?

Некоторые соображения о возможности улучшения качества обычного цемента при его хранении в сухих условиях были высказаны еще в 1894 г. замечательным русским бетоноведом А. Р. Шуляченко. В своих работах он указывал на существование двух процессов, происходящих при магазинировании (хранении) цемента. Первый процесс А. Р. Шуляченко назвал механическим, а второй – химическим.

«Механический» процесс заключается в распадении крупных частиц цемента на мелкие. «Как ни мелко перемолот цемент, но все же мельчайшие порошинки его представляют собою агрегаты частиц подобно крупным кускам», пишет А. Р. Шуляченко. «При лежании в магазинах, – продолжает он, – происходит распадение и этих агрегатов на мельчайшие части». Это важное и правильное положение А. Р. Шуляченко объяснял сжатием и расширением агрегированных крупинок под влиянием изменения температуры. В свете современных представлений о цементе такое объяснение вызывает сомнение.

Относительно химических процессов, происходящих при хранении цемента и вызываемых действием влаги, а также углекислого газа, Шуляченко указывает, что соответствующие реакции ослабляют силу цемента, уменьшая, так сказать, количество потенциальной энергии в цементе. Лишь в том случае, когда в цементе есть свободная известь, «...химический процесс является прямо полезным».

Как отмечал Шуляченко, механические и химические процессы могут протекать и в цементном клинкере, и в размолотом цементе. При хранении цемента *«...механический если процесс магазинирования идет ему на пользу, а химический – во вред, тем не менее, если магазинирование вообще оказывается полезным для портландцемента, то это происходит от того, что полезное действие магазинирования превышает его вредное влияние»*. Полезное влияние магазинирования, как подчеркивает Шуляченко, сказывается только при хранении цемента «в сухом месте».

Основные теоретические соображения А. Р. Шуляченко и поныне представляют значительный интерес. Сделанные же из них практические выводы были верны лишь для того времени, когда цемент размалывался очень грубо; при хранении же тонкомолотых цементов отрицательное влияние химических реакций не всегда перекрывается положительным эффектом тех явлений, которые Шуляченко называл механическими.

Любопытно отметить, что по величине поглощения водяного пара и углекислого газа гидрофобный цемент в известной мере приближается к цементному клинкеру или к старинным грубомолотым цементам, для которых определенные условия магазинирования оказывались полезными. Так, у грубомолотых цементов, хранившихся в течение двух лет в сухих складах, потеря при прокаливании редко достигала 3% (данные А. Р. Шуляченко). Немолотый цементный клинкер вращающихся печей за один-два года хранения обнаруживает повышение потери

при прокаливании на 1–2%. У гидрофобного цемента через 6 месяцев хранения во влажных условиях такая потеря составляет 2–3%. Обычный же тонкомолотый цемент за такой же срок теряет при прокаливании 12–14%.

Чтобы подчеркнуть разницу отношения гидрофобного и обычного цементов к действию реагентов, находящихся в воздухе, следует отметить, что в результате гидрофобизации резко сокращается, по сравнению с обычным цементом, поверхность, доступная действию водяного пара и углекислого газа. Иначе говоря, происходит как бы временное – на период хранения цемента – уменьшение «активной» удельной поверхности гидрофобного цемента. Когда же водяные пары действуют на частицы обычного цемента, то влияние влаги начинается преимущественно с поверхностных участков, что вызывает слипание частиц и приводит к их агрегации и даже к образованию комков.

«Механическое действие магазинирования», о котором говорил А. Р. Шуляченко, в сущности, часть того процесса, который в свете современных физико-химических представлений может быть назван самопроизвольным, то есть происходящим без затраты работы извне, диспергированием твердого тела.

Чтобы объяснить сущность этого процесса применительно к гидрофобному цементу, следует исходить из схемы «сетчатого» строения защитного гидрофобного слоя на цементных зернах, применив при этом известные представления академика П. А. Ребиндера о развитии микротрещин в твердом теле при адсорбционных явлениях, а также приняв во внимание химические процессы, происходящие между цементом и средой.

Водяной пар и углекислый газ, в относительно малых количествах проникая в глубь цементных зерен по микротрещинам, должны, согласно теории П. А. Ребиндера, адсорбироваться на их внутренних поверхностях и вызывать расклинивание, приводящее к развитию и углублению микрощелей.

В гидрофобном цементе при его хранении наряду с указанными адсорбционными явлениями происходят также и химические процессы. Реакции взаимодействия водяного пара и углекислого газа с клинкерными минералами в данном случае, по-видимому, имеют локальный характер, т. е. концентрируются на отдельных участках. При этом неизбежно возникают местные механические напряжения в цементном зерне, так как гидратация клинкерных минералов сопровождается их разбуханием, а реакция карбонизации свободной извести, неизбежно появляющейся при действии влаги на цемент, протекает с увеличением объема. Такие напряжения способствуют развитию микротрещин в наиболее слабых местах зерна. Возможно, что и те агрегированные зерна, которые вследствие слипания мельчайших частиц образовались в процессе помола, в данном случае тоже диспергируются, распадаясь на отдельные фрагменты. Любое разрыхление цементных частиц полезно, подобно тому, как полезно разбухание крахмала в холодной воде, способствующее процессу клейстеризации.

Предлагаемое объяснение механизма автоактивизации гидрофобного цемента сводится в основном к тому, что благодаря сетчатому строению гидрофобной оболочки водяной пар и углекислый газ, не реагируя с поверхностью, проникают в глубь цементного зерна по микротрещинам и в последующем (при затворении водой) облегчают химическое диспергирование цемента.

Что касается энергетических причин автоактивизация цемента как процесса, идущего без затраты работы извне, то, исходя из положений, установленных П. А. Ребиндером и Е. Е. Сегаловой для пептизационного измельчения цемента, затворяемого водой, можно в данном случае отметить, что автоактивизация есть результат прямого превращения адсорбционной и химической энергии в энергию разбухания, а также упругой деформации цементных частиц до их разрушения.

Явление автоактивизации имеет не только теоретическое, но и практическое значение, так как очень часто период от изготовления до применения цемента составляет от 6 до 12 месяцев. За это время эффект автоактивизации гидрофобизированных цементов уже способен убедительно себя проявить. Вполне возможно также ускорить эффект автоактивизации гидрофобизированных цементов путем целенаправленного обеспечения условий, при которых этот эффект может ускоренно развиваться.

7.10 Ускоренные методы оценки сохранности гидрофобизированного цемента

Оценка качества применяемого цемента – одна из серьезнейших проблем производства пенобетона. Традиционные лабораторные методы слишком дороги, длительны и трудоемки. Уповать на лабораторные заключения производителя, как правило, бессмысленно – они не способны учесть потери активности цемента в процессе хранения.

Гидрофобизированные цементы в этом плане – настоящий выход из положения, поскольку фактор потери качества во времени в них отсутствует.

Сохранность любого обычного цемента можно определить только путем сравнения с базовыми показателями, полученными сразу после помола, через произвольные сроки, например через 3 месяца или более. Сохранность же гидрофобизированного цемента можно подтвердить опосредованно, путем проверки насколько он сохранил свои гидрофобные свойства. А это очень простая проверка, не требующая никакого лабораторного оборудования.

Наиболее показательной пробой для определения способностей гидрофобизированных цементов выдерживать длительное хранение служит «проба на гидрофобность». Те цементы, которые ее выдерживают, обладают способностью сохранять активность при длительном хранении. Поэтому такая проба введена в качестве обязательной в ТУ на гидрофобизированный портландцемент.

Сохранение гидрофобизированным цементом своих гидрофобных свойств в процессе хранения является достаточным подтверждением того, что его характеристики за это время как минимум не ухудшились. В случае положительного результата пробы на гидрофобность можно смело руководствоваться паспортными данными завода-изготовителя на данный цемент и не опасаться ухудшения его характеристик, обусловленных временным фактором.

Испытание проводится следующим образом. В стакан, наполненный водой, постепенно насыпают тонким слоем 2–3 г испытуемого цемента; если цемент гидрофобный, то он должен образовать пленку на поверхности воды. После этого берут 5–10 г цемента, разравнивают его тонким слоем на поверхности сухого стекла и наносят на него несколько капель воды; на гидрофобном портландцементе вода должна оставаться в виде свободно передвигающейся капли не менее 5 минут.

Эти два испытания в совокупности и составляют «пробу на гидрофобность».

Гидрофобность цемента можно проверить и другим путем. В сухой стакан насыпают цемент и заливают водой (или же быстро высыпают его в воду). Через 5–10 минут воду сливают; гидрофобный цемент должен остаться сухим и сыпучим.

При исследовании новых гидрофобизирующих добавок степень сохранности цементов в лабораторных условиях удобно определять по кривым кинетики сорбции водяного пара. Можно с известной степенью приближения считать, что гидрофобный цемент выдерживает не менее 6 месяцев хранения, если сорбция пара через 4–5 недель оказывается в 3–5 раз меньше, чем у обычного цемента, изготовленного из того же клинкера.

ГЛАВА 8

ВНЕШНИЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ В ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНОВ

8.1 Виброактивация цемента – как все начиналось

Во многих регионах отсутствуют качественные заполнители для производства бетонов. И в первую очередь крупных песков.

Мелкий барханный песок Средней Азии обладает повышенной пустотностью и чрезвычайно развитой наружной поверхностью – это обуславливает повышенную водопотребность бетонной смеси и значительный перерасход цемента. Кроме того, при изготовлении бетона мелкий песок и цемент комкуются, что влечет за собой повышенную неоднородность бетона и, опять же, перерасход цемента.

Первые успешные опыты по применению ультрамелких дюнных песков были предприняты во время Отечественной войны на одном из крупных строителств на Черноморском побережье. Из-за условий военного времени строительство было лишено возможности получать привозной высококачественный песок, а местный дюнный был забракован, поскольку требовал непомерного расхода цемента.

Грузинские бетоноведы, занимавшиеся решением этой проблемы (в частности, Ю.Я. Штаерман), предложили для снижения эффекта комкования отказаться от традиционного метода производства бетона и перейти к его изготовлению в два приема: предварительно готовить цементно-песчаный раствор, а затем вводить его в бетономешалку вместе с крупным заполнителем. Эти рекомендации, выполненные в условиях военного времени, позволили строителям успешно закончить строительство, используя дюнные пески для изготовления бетона.

В послевоенные годы исследования в данном направлении были продолжены – ведь проблема использования тонких золowych дюнных песков очень

актуальна для регионов Средней Азии и Закавказья. Продолженные в начале 50-х годов исследования показали, что при изготовлении растворов с обычным расходом воды комкование песка и цемента устраняется лишь частично. Для ликвидации этого вредного явления необходимо предварительно вводить в смесь песка с цементом лишь строго ограниченное количество воды. Но в этом случае требуется энергичное перемешивание очень вязкой полусухой массы, недостижимое в обычных лопастных смесителях. Наиболее рациональным стало предложение в этом случае задействовать для перемешивания внешние вибрационные возмущения.

Для лабораторных экспериментов по виброактивации цементов были изготовлены три вида виброактивирующих установок – две разновидности электромагнитных вибраторов и один электромеханический.

8.1.1 Электромеханический вибратор и первые результаты экспериментов по виброактивации цементных паст

В лабораторных условиях был изготовлен электромагнитный вибратор, обеспечивающий плавное изменение частоты вибраций в диапазоне от 50 до 2000 Гц. В качестве источника переменного тока звуковой частоты был применен стандартный звуковой генератор с диапазоном частот от 20 до 20 000 Гц.

Переменный ток требуемой звуковой частоты от звукового генератора подавался на усилитель, который повышал мощность тока звуковой частоты до 100–120 Вт, а с него – на специальным образом изготовленный вибратор.

Вибратор представлял собой мощный динамик (80–100) Вт, диффузор которого был заменен пустотелым узким конусом; к концу диффузора была прикреплена жесткая мембрана, выполняющая функцию источника колебаний. Конус, мембрана и звуковая катушка в совокупности представляли собой подвижную часть вибратора. Принцип действия устройства состоял в том, что переменный ток звуковой частоты подавался на звуковую катушку динамика и приводил в колебательное движение конус с мембраной, благодаря чему создавался вибрационный эффект.

Сопrotивление звуковой катушки динамика составляло 5 Ом, а ток поддерживался постоянным – 4 А, поэтому потребляемая мощность оставалась неизменной:

$$W = I^2 R = 4^2 \cdot 5 = 80 \text{ Вт}$$

Нужное напряжение в цепи усилителя устанавливалось с помощью реостата, а точная настройка осуществлялась регулятором громкости.

Амплитуда колебаний вибратора регулировалась путем изменения величины зазора между катушкой электромагнита и сердечником вибратора.

Глава 8. Внешние механические воздействия в технологии бетонов

Параметры цемента	Портландцемент «А»	Портландцемент «Б»
Нормальная густота	0,24	0,25
Начало схватывания, через, в час-мин	0–48	5–35
Конец схватывания, через, в час-мин	6–20	7–35
Тонкость помола		
– остаток на сите 900, в %	1,0	0,5
– остаток на сите 4900, в %	90,5	96,0
– проход через сито 10 000, в %	76,2	80,5
Активность цемента R28, в кг/см ²	420	310
Прочность при растяжении стандартных восьмерок R _г 28, в кг/см ²	20,0	16,1
Химический состав, в %		
CaO	61,64	60,64
SiO ₂	21,00	21,75
Al ₂ O ₃	6,55	7,27
Fe ₂ O ₃	3,67	2,53
MgO	3,97	1,45
SO ₃	2,02	1,45
влага	0,39	0,65
посторонние примеси	0,95	4,09
Минералогический состав (по расчету), в %		
C ₃ S	34,31	25,61
C ₂ S	34,53	43,02
C ₃ A	11,15	14,97
C ₄ AF	11,01	7,65

Примечание:

Данные в таблице приведены по стандартам, относящимся к 1959 г.

Цемент «Б» является белитовым, и его активность, несмотря на более высокую тонкость помола, оказалась ниже, чем у цемента «А»

Таблица 8.1.1-1

Опыты по виброактивации цементных паст проводились на двух портландцементных – «А» и «Б», обладающих следующими характеристиками (см. таблицу 8.1.1-1).

Цементное тесто приготавливалось вручную, перемешиванием воды и цемента в металлической чашке. Ввиду небольшой мощности вибратора объем замеса составлял 1,5 л. Из одного замеса изготавливались и контрольные образцы (невибрированные), и с виброобработкой.

Цементное тесто, подлежащее виброобработке, помещалось в круглую стеклянную банку емкостью 2 л. Банка устанавливалась под вибратором. Вибратор был прикреплен к подвижной раме станины вибрационной установки; рама при помощи ходового винта с прямоугольной нарезкой могла опускаться и подниматься.

При опускании вибратора его рабочая часть погружалась в банку с цементным тестом, а после окончания виброобработки извлекалась из нее обратным движением винта.

Малая мощность вибратора и соответствующий объем замеса продиктовали переход к изготовлению образцов с последующим испытанием на прессе усилием 5 т. Форма образцов была принята цилиндрическая, диаметром 3,0 см и высотой 4,5 см.

Из одного замеса цементного теста изготовлялось несколько групп образцов (по 6 штук): первая (контрольная) – без виброобработки, остальные – при различной продолжительности виброобработки (от 1 до 20 минут).

Хранились образцы во влажных опилках в помещении с температурой воздуха +14–18 °С. Испытание и сравнение результатов производилось в возрасте 7 дней.

Из результатов испытания шести образцов вычислялось среднеарифметическое значение. Если прочность одного или двух образцов отличалась от среднеарифметической больше чем на 15 %, то вычисление среднеарифметического значения прочности производилось вторично, исключив из партии образцы со значительными отклонениями.

Виброактивация проводилась на частотах 50, 200 и 450 Гц при различных амплитудах, разной длительности вибрации и разных водоцементных соотношениях.

Наиболее оптимальными оказались следующие параметры вибровоздействия: амплитуда – 0,15 мм, частота – 200 Гц. Эти результаты сведены в *таблицу 8.1.1-2*.

Сравнение результатов виброактивации цементов «А» и «Б» подтверждает существенное влияние минералогического состава цемента на эффект виброобработки.

Оптимальное водоцементное отношение для цемента «Б» оказалось равным 0,22, то есть 0,88 от нормальной густоты этого цемента.

Для цемента «А» оптимальное В/Ц составляет 0,96 нормальной густоты. При опытным определении оптимального В/Ц можно рекомендовать ориентироваться на В/Ц, равное 0,9 нормальной густоты с небольшими колебаниями в обе стороны от этого значения.

Разница в минералогическом составе особенно ярко проявилась в количественном эффекте виброактивации. Коэффициент повышения прочности для

Продолжительность виброобработки	Прирост относительной прочности по сравнению с необработанным цементом, в % (цемент типа «А»)			Прирост относительной прочности по сравнению с необработанным цементом, в % (цемент типа «Б»)		
	В/Ц=0,20	В/Ц=0,22	В/Ц=0,24	В/Ц=0,20	В/Ц=0,22	В/Ц=0,24
0 мин.	0	0	0	0	0	0
1 мин	4	9	8	20	40	12
2 мин.	7	13	11	30	48	20
3 мин.	11	17	12	35	52	24
4 мин	12	20	12	40	56	28
5 мин.	13	22	12	43	58	30
10 мин.	14	23	12	48	63	35
15 мин.	14	23	12	50	64	38
20 мин.	14	22	11	52	63	37

Примечание:

Использование «относительной прочности» снимает вопрос о необычной форме образцов.

Таблица 8.1.1-2

цемента «А» оказался равным 1,23, для цемента «Б» – 1,63 (прирост относительной прочности по сравнению с необработанным цементом – 23 % и 64 % соответственно).

Результаты опытов, проведенных с применением вибратора звуковой частоты, приводят к следующим выводам:

1. Оптимальный расход воды на увлажнение активируемого цемента составляет определенную долю от расхода воды на затворение того же цемента для получения теста нормальной густоты (НГ).
2. Эффект от длительности виброобработки проявляет себя нелинейно: он нарастает в первые минуты, затем стабилизируется. При длительной виброактивации наблюдается снижение полученного эффекта.
3. Степень проявления эффекта виброактивации в значительной степени зависит от минералогического состава цемента.

8.1.2 Первые опыты по активации цементной пасты при помощи серийно выпускаемого вибратора

Первые же опыты по активации принесли неожиданные и неоднозначные результаты, весьма важные для последующего правильного понимания и применения эффекта виброактивации цементных паст. Для их уточнения и переноса в практическую плоскость была проведена серия экспериментов с использованием промышленного, серийно выпускаемого и массово используемого

в строительной индустрии погружного вибратора типа И-21 с частотой вибро-возмущений – 7000 колебаний в минуту (116,7 Гц). Ход экспериментов представлен ниже.

Цементное тесто из портландцемента типа «А» приготавливалось вручную перемешиванием в металлической чашке. Объем замеса равнялся 14 л (36 образцов 7х7х7 см). Половина замеса помещалась в стальной цилиндр для виброобработки, а другая половина временно оставалась в чашке.

В цилиндр с цементным тестом погружался наконечник вибратора с гибким валом так, чтобы он не доходил до дна цилиндра на 2–3 см. Вибратор включался на заданное время, причем наконечник вибратора находился примерно на оси цилиндра.

Провибрированная паста укладывалась в формы 7х7х7 см. Применялись 12-гнездные формы: 6 ячеек заполнялись провибрированной пастой, а остальные – невибрированным цементным тестом. Форма устанавливалась на вибростол, который запускался на 30 секунд для уплотнения образцов из цементного теста и пасты. Условия укладки в формы и уплотнение образцов как цементной пасты, так и цементного теста (контрольных образцов) были совершенно одинаковыми.

Образцы приготавливались на 3 срока хранения: 7, 28 и 90 дней (по 6 образцов на каждый срок хранения). Таким образом, одновременно изготавливались 18 образцов из провибрированной пасты и 18 – из невибрированного цементного теста, служивших контрольными.

Образцы извлекались из форм через сутки после изготовления и помещались во влажные опилки на весь срок хранения. Температура в камере хранения колебалась в пределах +17–24 °С.

Были изготовлены образцы при пяти водо-цементных отношениях: 0,20; 0,23; 0,26; 0,29 и 0,32. Продолжительность виброобработки каждого состава изменялась от 5 до 40 мин. Испытание образцов на прочность проводилось сжатием на 50-тонном прессе.

Из результатов испытания отбрасывались два наименьших значения, а из оставшихся четырех выводилось среднее арифметическое.

Результаты испытания образцов в возрасте 7–90 суток представлены в форме таблицы (см. *таблицу 8.1.2-1*).

Сопоставление зависимостей прироста прочности цементного камня от времени вибрирования позволяет заключить, что при данном цементе и данном вибраторе максимальная прочность образца достигается только при строго определенном В/Ц и соответствующем времени виброактивации.

С увеличением В/Ц прочность образцов падает, а время вибрирования, необходимое для достижения максимальной прочности при данном В/Ц, растет.

Второе положение (рост длительности вибрирования) воспринимается как парадоксальное, но оно становится понятным, если учесть, что величина В/Ц

Длительность виброактивации	Прирост относительной прочности по сравнению с необработанным цементом, в зависимости от сроков твердения и от В/Ц, в %															
	В/Ц = 0,20				В/Ц = 0,23				В/Ц = 0,26				В/Ц = 0,29			
	7 сут.	1 мес.	3 мес.	7 сут.	1 мес.	3 мес.	7 сут.	1 мес.	3 мес.	7 сут.	1 мес.	3 мес.	7 сут.	1 мес.	3 мес.	7 сут.
	В/Ц = 0,32	1 мес.	3 мес.	7 сут.	1 мес.	3 мес.	7 сут.	1 мес.	3 мес.	7 сут.	1 мес.	3 мес.	7 сут.	1 мес.	3 мес.	7 сут.
0 мин. (контроль)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5 мин	9,0	5,5	26,7	7,6	5,5	9,2	4,9	4,8	5,0	3,8	6,0	4,8	-0,3	0,5	0,5	0,5
10 мин.	9,4	30,8	26,9	20,4	30,8	38,7	9,9	5,3	9,6	8,2	10,9	8,8	-0,6	1,0	1,9	1,9
15 мин.	6,8	29,5	27,1	19,2	30,0	37,8	13,6	15,0	16,3	9,8	11,1	10,5	-0,9	1,4	2,3	2,3
20 мин	4,7	28,3	27,3	17,4	28,3	36,1	16,5	21,1	21,7	11,4	11,6	11,8	-1,2	1,9	3,3	3,3
25 мин.	5,8	30,0	25,5	14,8	30,2	36,6	17,0	20,3	21,7	10,9	12,5	12,1	1,9	2,9	7,5	7,5
30 мин.	6,8	31,6	25,1	13,0	31,9	37,0	17,5	18,9	21,7	10,6	13,4	12,3	4,3	4,8	10,3	10,3
35 мин.	8,1	33,8	23,9	16,7	34,6	35,3	18,0	18,5	21,5	10,1	14,8	12,5	6,8	5,7	9,8	9,8
40 мин.	9,4	35,4	23,1	20,4	35,4	34,0	18,5	17,2	21,3	9,2	15,3	12,7	10,6	7,7	9,3	9,3

Примечание:

В первоисточнике результаты эксперимента представлены в форме системы графиков на нескольких диаграммах. Для большей наглядности данные были пересчитаны в единый формат и сведены в общую таблицу. Благодаря этому сразу наглядно «всплывают» экстремумы.

Таблица 8.1.2-1

влияет не только на конечную прочность образца, но и на сам процесс виброактивации цемента.

Объяснением этому может служить тот факт, что в водно-цементной пасте вода должна не только смочить каждое зерно цемента в отдельности, но и заполнить все пустоты между ними. Выполнить это на практике практически невозможно – зерна цемента агрегируются, создают сгустки-конгломераты из отдельных зерен. Если же к системе подвести внешнее вибровоздействие, цементные агломераты разрушаются и вода получает доступ к каждому цементному зерну.

Но такая картина нелинейно накладывается на содержание воды в системе (величина В/Ц). Водно-цементная паста – это двухкомпонентная система. Ее составляющие, цемент и вода, имеют совершенно различные физические характеристики, в частности, у них совершенно разные модули упругости (разница примерно в 4 порядка). Поэтому воды в водно-цементной пасте должно быть строго определенное количество. При ее недостатке образуются микрополости и кратеры вокруг вибратора – вибровоздействию подвергается только заключенный в них воздух. При избытке же воды происходит расслоение бетонной смеси – цементные зерна отжимаются на периферию, а вокруг вибратора концентрируется вода, которая и поглощает большую часть вибровоздействия.

Максимальный эффект виброактивации со сниженным сроком вибрирования достигается при назначении строго оптимальной величины водной добавки. Ее величина всецело зависит от параметров вибровоздействия и величины нормальной густоты цемента. В ориентировочных расчетах можно отталкиваться от величины 0,9–0,96 НГ.

Оптимальная длительность вибрирования также является достаточно значимой величиной. Причем подбор длительности всецело зависит от принятого расхода воды. Если воды много, то прочность образцов равномерно растет во все сроки твердения с увеличением времени виброактивации. Если воды мало, то наблюдается некий сброс прочности при увеличении времени виброактивации, особенно в длительные сроки хранения. Эти явления обуславливаются тем фактом, что при длительном периоде виброактивации начинающиеся в цементе процессы структурообразования нарушаются продолжающимся вибровоздействием.

В *таблице 8.1.2-1* четко видно, что только при строго определенных параметрах (В/Ц=0,23, время активации 10 минут) наблюдается наибольшая эффективность виброактивации. Можно предположить, что многие исследователи не придавали внимания столь «незначительным» мелочам. В результате приходили к совершенно противоположным выводам, которые и распространяли потом в качестве доказательства несостоятельности виброактивации как таковой. Действительно, достаточно при прочих равных условиях увеличить В/Ц с 0,23 до 0,32 и можно вместо прироста прочности в 20,4 % в 7-суточном возрасте получить ее сброс (!) на 0,6 %

Аналогично, при неизменном $B/C=0.2$, увеличив время активации с 5 до 20 минут, можно получить не прирост, а почти двукратный сброс (!) прочности (вместо 9,0 % – 4,7 %). Между тем, все эти парадоксы имеют вполне логичное научное обоснование.

Были проведены также серии крупномасштабных экспериментов, направленных на изучение влияния физико-химических аспектов, и в частности химико-минералогического состава цемента на эффективность виброактивации. Было установлено, что наибольший эффект показывают виброактивированные цементы с повышенным содержанием C_3S и C_3A .

8.1.2.1 Обобщающие результаты первых экспериментов по активации водно-цементных паст

Обобщающие результаты, полученные после экспериментирования с водно-цементной пастой, позволили сформулировать следующие выводы:

1. Для виброактивации следует специально приготавливать вибропасту, в которой вода только скупко увлажняет цемент. Расход воды должен составлять 0,9–0,96 НГ. Скупко увлажненный цемент, поглощая подводимую высокочастотную импульсную энергию от вибропобудителя, активируется и образует пасту, богатую коллоидной массой низкой структурной прочности и с небольшим содержанием остатков непрореагировавшего клинкера. Для приготовления бетона (раствора) на активированной таким способом вибропасте нужно впоследствии прибавить заполнители и еще воду – исходя из конкретной рецептуры бетона.
2. Эффект, достигаемый виброактивацией цемента, зависит от минералогического состава, тонины помола и «лежалости» цемента, количества воды смачивания, параметров вибратора и времени виброобработки. Расход воды на смачивание цемента следует вести методом попыток в ходе бетоноведческого эксперимента, ориентируясь на расход воды, равный 0,9–0,96 НГ.
3. Накопленный экспериментальный опыт свидетельствует, что для активации водно-цементной пасты из рядовых цементов рекомендуемая частота вибратора лежит в диапазоне 100–200 Гц. Следует помнить, что частота, превышающая оптимальную, не только бесполезна, но и ухудшает качество вибропасты.
4. Длительность виброобработки определяется по техникоэкономическим соображениям, учитывая, что нарастание эффекта, достигаемого вибрированием, постепенно затухает. Следует ориентироваться на длительность виброобработки в пределах 5–10 минут.

8.1.3 Виброактивация цементно-песчаного раствора

Первые же опыты по активации водно-цементной пасты, проведенные в конце 50-х годов профессором Штаерманом, принесли неожиданные и неоднозначные результаты, весьма важные для последующего правильного понимания и применения эффекта виброактивации применительно к прикладному бетоноведению.

Тщательное изучение виброактивации водно-цементных паст не способно было дать полную и исчерпывающую картину по виброактивации цементно-песчаных растворов и бетонов, ведь в активируемую двухкомпонентную систему (цемент+вода) вводится третий компонент – заполнитель.

Термин «виброактивированный раствор» узаконен практикой как замена более громоздкого выражения «виброактивированная водно-цементно-песчаная паста». Между тем термин «виброактивированный раствор» воспринимается как неточный, поскольку активации подвергается лишь цемент, а столь важная составляющая раствора – песок, не меняет своих качеств под воздействием высокочастотного внешнего вибровоздействия. Это сомнение снимается, если учесть изменения свойств контакта цементного камня с зёрнами песка, вызываемые совместной виброобработкой всей водно-цементно-песчаной смеси.

Фотографии микрошлифов обычного и виброактивированного цементно-песчаных растворов убедительно свидетельствуют, что при совместной виброобработке активируются не только цементные зёрна, но и места их контакта с заполнителем. Активация точки контакта цемента и заполнителя влечет за собой далеко идущие последствия, а именно повышение плотности бетона, прочности на сжатие и в особенности на растяжение. Повышается морозостойкость бетона, улучшается сопротивляемость всем видам износа, снижается водопроницаемость и капиллярный водоподсос. Все вместе это позволяет значительно улучшить характеристики бетонов и растворов, прошедших виброактивацию.

Исследованию оптимальных параметров виброактивации цементно-песчаных вибропаст была посвящена следующая большая серия экспериментов.

В качестве виброактиватора был использован активатор, описанный ранее в разделе 8.1.1.

Характеристики цемента, использованного для экспериментов (см. таблицу 8.1.3-1).

Песок использовался из различных карьеров и различной крупности (см. таблицу 8.1.3-2).

Дозировки сухой смеси во всех случаях были постоянны – на 60 г цемента 120 г песка.

В качестве основного показателя эффекта виброактивации было принято повышение прочности кубиков в возрасте трех дней, изготовленных из виброактивированного и обычного цементно-песчаных растворов.

Результаты экспериментов сведены в таблицу 8.1.3-3

Глава 8. Внешние механические воздействия в технологии бетонов

Параметры цемента	Портландцемент пуццолановый
Нормальная густота	0,305
Начало схватывания, через, в час-мин	3–10
Конец схватывания, через, в час-мин	6–15
Прочность на сжатие в возрасте 7 суток, кг/см ²	318
Прочность на сжатие в возрасте 28 суток, кг/см ²	377
Прочность на растяжение в возрасте 7 суток, кг/см ²	21,2
Прочность на растяжение в возрасте 28 суток, кг/см ²	29,2

Таблица 8.1.3-1

Карьер песка	Процентное содержание частиц			
	Больше 0,3 мм	От 0,15 до 0,3 мм	От 0,088 до 0,15 мм	Меньше 0,088 мм
Тахиа-Таш	8,4 %	37,2 %	32,7 %	21,7 %
Казак	34,6 %	61,4 %	3,6 %	0,4 %
Балабан	81,8 %	16,6 %	1,2 %	0,4 %

Примечание:

Тахиа-Таш – барханный песок пустыни Каракумы; Казак и Балабан – местные мелкие пески из р-на Новой Каховки.

Таблица 8.1.3-2

Карьер песка	Значение коэффициента повышения прочности в зависимости от частоты виброактивирующего воздействия										
	0 Гц	100 Гц	200 Гц	300 Гц	400 Гц	500 Гц	600 Гц	700 Гц	800 Гц	900 Гц	1000 Гц
Тахиа-Таш	1	1,1	1,4	1,7	1,32	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
Казак	1	1,38	1,6	1,1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Балабан	1	1,56	1,48	1,28	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18

Примечание:

Длительность процесса виброактивации во всех случаях – 2 минуты.

Таблица 8.1.3-3

В процессе экспериментов было установлено, что на саму возможность и эффективность виброактивации огромное влияние оказывает количество воды, пошедшее на смачивание цементно-песчаной смеси. При избыточном увлажнении смеси вибрирование вызывает расслоение массы без достижения ощутимого эффекта активизации. При недостаточном увлажнении вибратор, погруженный в смесь и включенный в работу, образует вокруг себя воронку, где бесполезно перемещаются вверх-вниз песчинки и зерна цемента.

При надлежащем увлажнении наблюдается следующая картина. При запуске вибратора, погруженного в активируемую смесь, масса приходит в движение, оседает и уплотняется, вытесняя при этом захваченный воздух так интенсивно, что в первый момент вибрирования спичка, поднесенная к вибратору, мгновенно гаснет. Цемент интенсивно реагирует с водой, цементные зерна растираются и дробятся, а вода, пошедшая на смачивание песка, поглощается цементом и зерна песка покрываются коллоидной массой. Смесь цемента с песком приобретает жирный блеск и ликвидируется. При прекращении вибрирования смесь мгновенно застывает в очень густую блестящую пасту. Поэтому опорожнять лабораторную установку стоит при работающем вибраторе.

С увеличением крупности зерна величина водной добавки, идущей на смачивание песка, была разной. Так, при расходе 60 г цемента и 120 г песка величина водной добавки составляла, в процентах от веса цемента, для песков Тахия-Таш – 56 %, Казак – 48 %, Балабан – 40 %.

Величина оптимальной водной добавки к активируемой смеси песка с цементом первоначально принимается равной сумме парциальных добавок на увлажнение цемента, смачивание поверхности заполнителя и на воду, поглощаемую порами песка. Оптимальный расход воды меньше суммы парциальных расходов, так как активируемый цемент отсасывает воду из пленок, обволакивающих поверхность заполнителя.

Уже эти первоначальные эксперименты показали, что в вопросе виброактивации цементно-песчаных суспензий существуют определенные парадоксальные зависимости. А именно:

1. Эффективность виброактивации растет с увеличением среднего размера зерна заполнителя.
2. Для различных по крупности заполнителей существуют строго определенные частотные диапазоны вибрирования, в пределах которых эффект виброактивации наиболее выражен.
3. Количество воды, пошедшей на смачивание цементно-песчаной пасты, играет очень большое значение и тоже находится в строго определенном оптимуме.

Изучению этих парадоксов и особенностей и были посвящены все последующие исследования в данном направлении.

8.1.4 Влияние среднего размера зерна заполнителя на эффективную частоту виброактивации

Как было выяснено в первоначальных исследованиях, наиболее приемлемая частота вибрирования сильно зависит от крупности песка. Поэтому было

бы весьма заманчиво математически установить эту зависимость, чтобы назначать оптимальную частоту вибрирования, а не подбирать ее путем длительных и кропотливых экспериментов.

Если рассматривать простейший случай изготовления виброактивированного раствора на мелком песке, то следует отбросить влияние вибрационных импульсов на цементные зерна ввиду их малой крупности по сравнению со средним размером зерен песка.

В начале виброобработки прилагаемые импульсы механического возмущения пронизывают полусухую рассыпчатую смесь. Благодаря такому вибровоздействию полусухая смесь приобретает свойства неоднородной вязкой жидкости (назовем ее псевдожидкостью). Поэтому в дальнейшем рассматривать вибрационные возмущения следует не по отношению к полусухой смеси, а к жидкости.

Так как эта псевдожидкость неоднородна по составу да еще и состоит из частиц разной размерности (а соответственно, и массы), оптимальным было бы назначение многочастотного вибрирования, чтобы как можно больше частиц, составляющих раствор, вошло в состояние резонанса с внешним вибровозмущением. Это самый экономичный случай, но не самый простой. Поэтому из практических соображений было предложено отказаться от многочастотного вибрирования, а искать оптимальную частоту для частиц некой средней размерности.

Для песков, максимальный размер зерен которых не превышает 1,2 мм, после многочисленных экспериментов по проверке математических моделей на практике была предложена следующая формула по определению средней величины крупности песка:

$$D = 11,25 / (A_1 + A_2/2 + A_3/4 + A_4/8)$$

где:

11,25 – эмпирический коэффициент, вычисленный экспериментально для песков крупностью до 1,2 мм

A_1 – содержание в песке зерен крупностью 0,05–0,15 мм в %

A_2 – содержание в песке зерен крупностью 0,15–0,3 мм в %

A_3 – содержание в песке зерен крупностью 0,3–0,6 мм в %

A_4 – содержание в песке зерен крупностью 0,6–1,2 мм в %

В данной формуле зерна песка размерностью меньше 0,05 приплюсовывают к величине A_1 , а зерна песка больше 1,2 мм – к A_4 .

Для удобства последующих расчетов все данные сведены в одну таблицу (таблица 8.1.4-1).

Примеры расчета:

для Тахиа-Таш $D = 11,25 / (54,4 + 37,2/2 + 8,4/4 + 0/8 = 11,25 / (54,4 + 18,6 + 2,1 + 0) = 11,25 / 75,1 = 0,1498$

Карьер песка	Величина средней крупности песка D	Процентное содержание частиц класса			
		A ₁ (0,05–0,15)	A ₂ (0,15–0,3)	A ₃ (0,3–0,6)	A ₄ (0,6–1,2)
Тахиа-Таш	0,1498	54,4 %	37,2 %	8,4 %	0 %
Казак	0,2601	4,0 %	61,4 %	34,6 %	0 %
Балабан	0,3707	1,6 %	16,6 %	81,8 %	0 %
Безлюдовский карьер (г.Харьков)	0,1944	18,0 %	56,0 %	23,0 %	3 %

Примечание:

1. Действительно, весь Харьков построен на таком плохом для тяжелых бетонов песке.
2. Исходные данные для таблицы 8.1.2-1 взяты из таблицы 8.1.1-2.

Таблица 8.1.4-1

для Казак $D = 11,25 / (4,0 + 61,4/2 + 34,6/4 + 0/8) = 11,25 / (4,0 + 30,6 + 8,65 + 0) = 11,25 / 43,25 = \mathbf{0,2601}$

для Балабан $D = 11,25 / (1,6 + 16,6/2 + 81,8/4 + 0/8) = 11,25 / (1,6 + 8,3 + 20,45 + 0) = 11,25 / 30,35 = \mathbf{0,3707}$

для Безлюдовка $D = 11,25 / (18,0 + 56,0/2 + 23,0/4 + 3,0/8) = 11,25 / (18,0 + 28,0 + 11,5 + 0,375) = 11,25 / 57,875 = \mathbf{0,1944}$

Исходя из величины средней крупности песка D была предложена формула для определения оптимальной частоты вибровоздействия:

$$F = K/D$$

где:

F – оптимальная частота вибровоздействия в Гц

K – безразмерный коэффициент, вычисленный экспериментально и равный 50 для мелких песков

D – величина средней крупности песка

Согласно этой формуле, оптимальная частота вибровоздействия для песка Тахиа-Таш составляет

$$F = K/D = 50/0,1498 = \mathbf{333,78 \text{ Гц}}$$

Для Казак $F = 50/0,2601 = \mathbf{199,23 \text{ Гц}}$

Для Балабан $F = 50/0,3707 = \mathbf{135,88 \text{ Гц}}$

Для Безлюдовка $F = 50/0,1944 = \mathbf{257,20 \text{ Гц}}$

Вышеприведенный математический аппарат был проверен экспериментально и показал высокую сходность результатов (см. таблицу 8.1.4-2).

Опыты также подтвердили теоретическое соображение о том, что оптимальная частота вибрирования должна снижаться с увеличением средней крупности песка, но одновременно было констатировано, что со снижением средне-

Карьер песка	Величина средней крупности песка D	Оптимальная частота вибрации, Гц	
		Опытные данные	Вычисленные данные
Тахиа-Таш	0,1498	300	333,78
Казак	0,2601	200	199,23
Балабан	0,3707	150	135,88

Таблица 8.1.4-2

го размера зерна эффективность виброактивации не падает, но даже несколько повышается.

И экспериментальным, и эмпирическим путем было также доказано, что если соблюдать правило назначения оптимальной частоты виброактивации, то эффективность виброобработки растет с уменьшением величины среднего размера зерна заполнителя. С позиций физико-химической механики дисперсных систем это явление объясняется тем фактом, что при уменьшении размера зерна заполнителя (при прочих равных условиях) растет их число в единице объема виброактивируемого раствора. Соответственно уменьшается и толщина пленок цементного теста, обволакивающего эти зерна. А раз так, то результирующая однородность структуры цементно-песчаного камня также увеличивается, что способствует росту конечной прочности отвердевшего раствора.

8.2 Развитие учения о виброактивации цемента

Первые же опыты по вибрационной активации водно-цементных и водно-цементно-песчаных паст породили жгучий интерес многих исследователей к данной проблематике. Лавинообразно множились научные труды в этом направлении. Еще больше производителей пытались внедрить результаты этих исследований в практику.

Не всегда практический опыт подтверждал выводы ученых. В большинстве случаев это было обусловлено слабой теоретической подготовкой последователей на местах.

В специализированных научных изданиях, освещающих тематику активации строительных материалов, в изобилии встречаются суждения о степени эффективности тех или иных активирующих приборов, методов и подходов. Столь же много и оценок степени их эффективности.

И хотя теме механохимии и механоактивации будет предоставлено «отдельное слово» (она достойна этого), тем не менее даже в данном изложении следует отметить некоторые, как мне кажется, очень важные нюансы – расста-

вить акценты, чтобы предостеречь возможных последователей от тривиальных ошибок.

8.2.1 Влияние вида и скорости механического нагружения на механохимическую активность продуктов разрушения

Наибольшую активность имеют продукты, измельченные в специальных энергонапряженных мельницах – вибрационных, планетарно-шаровых, струйных, мельницах вихревого слоя, дезинтеграторах.

Во всех этих агрегатах материал измельчается или раздавливанием, или ударом, или истиранием, а обычно – всеми тремя методами одновременно. Но главный вклад в этот процесс вносит как раз измельчение путем удара.

Ударное разрушающее воздействие на материал, в свою очередь, можно разделить на «свободное» и «стесненное».

Под «свободным» ударом следует понимать тип воздействия, когда обрабатываемый материал с большой скоростью ударяется о неподвижную преграду (типичный образец – струйная мельница) или на небольшой скорости подвергается воздействию механических ударных элементов, движущихся с большой скоростью (дезинтегратор). После соприкосновения мелющийся материал способен изменить траекторию в соответствии с параметрами удара и характеристиками самого материала. Иногда «свободный» удар называют еще и «ударом с отскоком».

Под «стесненным» ударом подразумевается случай, когда частица, находящаяся в неподвижном состоянии или перемещающаяся с малой скоростью, разрушается под действием удара свободно падающего под действием сил гравитации мелющего тела (шаровая мельница) или под действием мелющего тела, находящегося в поле действия инерционных сил (планетарная мельница).

При «свободном» ударе превалирует динамическая составляющая передачи энергии, при «стесненно» – статическая. Есть ли разница между этими вариантами разрушения, а если есть, как наиболее верно подобрать параметры ударного разрушения для обеспечения наибольшей эффективности именно в случае помола цемента?

Много экспериментов было посвящено изучению того, как вид и скорость деформации влияет на вероятность нагружения измельчаемого цемента. Исследования механизма разрушения частиц цемента и анализ гранулометрического состава продуктов измельчения показали, что распределение частиц по размерам подчиняется нормально-логарифмическому закону. В зависимости от способа разрушения форма частиц измельченного продукта изменяется от почти кубической (при «свободном» ударе) до продолговатой, лещадной (при мед-

ленном сжатии и «стесненном» ударе). Последнее положение хорошо коррелирует с результатами опытов по измельчению крупного заполнителя – гравия.

Как известно, поверхностные явления на границе «твердое тело – жидкость» невозможно оценить напрямую, через измерение сил поверхностного натяжения. Для этих целей используются косвенные методы изучения поверхностных явлений – измерением теплоты смачивания. Установлено, что при смачивании твердого тела жидкостью наблюдается выделение тепла, так как разность полярностей на границе «твердое тело – жидкость» меньше, чем на границе с воздухом. Для пористых и порошкообразных тел теплота смачивания обычно имеет значение от 1 до 125 кДж/кг и зависит от степени дисперсности твердого тела и полярности жидкости.

В общем виде можно сказать, что теплота смачивания характеризует как дисперсность, так и природу его поверхности. Чем больше теплоты выделяется при смачивании, тем лучше жидкость смачивает поверхность твердого тела. В случае цемента увеличение теплоты смачивания свидетельствует об улучшении доступа воды к цементу, а соответственно, к более полной его гидратации.

Экспериментально было установлено, что на увеличение теплоты смачивания влияют как скорость разрушения, так и модель разрушения. Для «свободного» удара величина увеличения теплоты смачивания почти прямо пропорциональна увеличению скорости разрушения. При «стесненном» ударе увеличение скорости разрушения очень мало влияет на увеличение теплоты смачивания – самую низкую теплоту смачивания имеют порошки, полученные статическим сжатием.

Влияние скорости удара на прочность цементного камня вообще носит экстремальный характер (см. *таблицу 8.2.1-1*).

Увеличение скорости разрушения приводит сначала к росту прочности, а затем к ее снижению. Наблюдение за процессом твердения цемента показали, что при скоростях измельчения свыше 180 м/с («свободный» удар) или 120 м/с («стесненный» удар) процесс гидратации протекает многоэтапно, что и объясняет падение прочности. В первые несколько суток твердения из-за наличия большого количества активных центров кристаллизации гидратация протекает неравномерно по объему. Эта неравномерность в дальнейшем способствует образованию локальных центров концентрации напряжений и появлению множественных дефектов структуры. Так, например, при скорости деформации 270 м/с и более после 4-суточного твердения происходит полное самопроизвольное разрушение образцов!

Объяснением приведенному выше парадоксу, когда с увеличением скорости разрушения цементного клинкера прочность образцов падает, может служить предположение, что на определенном этапе начинают проявляться механохимические эффекты. Благодаря им изменяется растворимость мономинеральных составляющих цементного клинкера. Формирующиеся при этом новые

Параметры измельчения	Количество добавок	Влияние скорости удара в м/с на прочность цементного камня в кг/см ²						
		30 м/с	60 м/с	90 м/с	120 м/с	150 м/с	180 м/с	210 м/с
«Свободный» удар (дезинтегратор)	0	35	50	80	120	135	130	70
«Стесненный» удар (вибромельница)	0	—	10	45	80	75	50	20
«Свободный» удар (дезинтегратор)	15 % опока + 5 % гипс	230	245	255	300	315	320	325
«Стесненный» удар (вибромельница)	15 % опока + 5 % гипс	—	80	130	180	195	200	205

Примечание:

1. Измельчались образцы цементного клинкера от крупности 5–7 мм до достижения удельной поверхности 3500 см²/г.
2. Измельченный при различных условиях цементный порошок стандартным образом затворялся с песком в соотношении 1:3 при В/Ц=0.3.

Таблица 8.2.1-1

кристаллизационные структуры нетипичны для обычного цементного камня и не способствуют росту его прочности. В качестве добавок, нормализующих ход гидратации цементного клинкера на начальном этапе, было предложено дополнительно вводить гидравлическую добавку (опока) и гипс двуводный, который задает начальную структуру кристаллизационных новообразований на основе гидросульфалоуминатов. Благодаря таким нехитрым мероприятиям оказалось возможным повысить максимально достижимую прочность цементного камня при «свободном» ударе в 2,4 раза (с 120 кг/см² до 325 кг/см²). При «стесненном» ударе – увеличение в 2,5 раза (с 80 кг/см² до 205 кг/см²).

В 1961 г. Йоханес Хинт экспериментальным образом определил, что при измельчении гидравлических вяжущих (цемент) «свободным» ударом (дезинтегратор) наиболее эффективной является скорость удара в 250 м/с, что весьма близко коррелирует с приведенными выше результатами.

В большинстве публикаций по тонкому измельчению строительных вяжущих специально не акцентируется внимание на зависимости скорости измельчения от конечной прочности. Но зато всегда указывается, что в процессе такого дополнительного измельчения цемента необходимо в обязательном порядке учитывать повышенный выход в систему отдельных составляющих цементного клинкера, и в первую очередь трехкальциевого алюмината C_3A . Поэтому ВСЕГДА дополнительное измельчение цемента должно проводиться на фоне введения дополнительных дозировок гипса и гидравлических добавок.

У меня уже были в почте вопросы, когда экспериментаторы, исследуя процессы измельчения и механоактивации цементов на высоконагруженных измельчающих аппаратах (дезинтеграторах) с увеличением скорости удара получали отрицательные результаты. Корень проблемы в том, что они не добавляли гипс и гидравлические добавки.

Из приведенных выше исследований также видно, что именно помольные агрегаты, реализующие «свободный» удар, способны в наиболее полной мере реализовать потенциал механохимической активации в гидравлических вяжущих.

8.2.2 Влияние химических характеристик цемента на эффективность виброактивации

Для приготовления высококачественного бетона важное значение имеет тщательное перемешивание составляющих бетонной смеси, и в первую очередь – равномерное распределение и хорошее взаимодействие воды с цементом. Последнее обстоятельство в известной мере обуславливает количество новообразований в бетонной смеси и тем самым характер структурообразования цементного камня и рост прочности бетона. Увеличение количества новообразований усиливает рост прочности бетона, что особенно важно при изготовлении сборных железобетонных конструкций, производстве особых видов бетонов и при бетонных работах зимой, что налагает повышенные требования к кинетике набора прочности цементного камня (изготовление пенобетонов, газобетонов, беспропарочная технология тяжелых, легких и ячеистых бетонов и т. д.).

Для современной технологии тяжелого бетона характерно применение жестких смесей, цементов с высокой тонкостью помола, смешанных цементов и других технологических приемов, направленных на более полное использование вяжущих свойств цемента. Однако в жестких бетонных смесях или иных тонкоизмельченных материалах, обладающих заметными вяжущими свойствами, наблюдается значительная агрегация зерен вяжущего при перемешивании, что мешает хорошему взаимодействию воды и цемента.

Более подробно о механизме агрегации цемента с образованием флокул, а также о способах минимизации этого эффекта с помощью добавок ПАВ (эффект пептизации) смотри в соответствующих разделах, посвященных механизму действия ПАВ на бетонные композиции.

Обычными средствами перемешивания даже при принудительном механическом воздействии не удастся обеспечить достаточного раздробления цементных флокул (пептизировать цемент). Поэтому при вполне удовлетворительной гомогенизации ингредиентов бетонной смеси механизм гидратации цемента все же происходит недостаточно полно. По оценкам разных исследователей,

от 30 до 70 процентов цемента так и не получают возможности прореагировать с водой (прогидратировать) – в бетоне они выполняют функцию ультрамелкого заполнителя.

Вследствие уменьшения количества цемента, вступившего в реакцию гидратации с водой, уменьшается и количество образующегося цементного клея. Количество новообразований в бетонной смеси также значительно уменьшается. В конечном итоге кинетика роста прочности бетона не соответствует потенциальным возможностям цемента. Проблема усугубляется и тем, что изначально тонкомолотые и быстротвердеющие цементы в еще большей степени подвержены эффектам агрегации самых мелких, а следовательно, самых активных зерен цемента.

Для достижения хорошего взаимодействия воды и цемента необходимо воспрепятствовать образованию агрегатов цементных зерен и обеспечить тщательное перемешивание в микрообъемах на разделе «цемент – вода». Это достигается различными способами, но наиболее экономически оправданным и простым в реализации следует признать способ, при котором на перемешивающуюся бетонную смесь одновременно оказывается вибрационное воздействие.

Как показывают многочисленные исследования, вибрационное воздействие на бетонную смесь в процессе ее приготовления не только улучшает взаимодействие цемента и воды (с увеличением количества гидратных новообразований), но и способствуют уплотнению цементного камня, препятствуя росту коагуляционных структур, тем самым резко ускоряя твердение бетона в ранние сроки, что так важно для некоторых технологических приложений.

8.2.2.1 Влияние минералогических особенностей цемента на эффективность виброактивации

С учетом того, что на постсоветском пространстве существует много производителей цемента, выпускающих продукцию, которая значительно различается по минералогии, огромный интерес представляет изучение влияния эффектов виброактивации и виброперемешивания по отношению к тем или иным составляющим цемента – C_2S , C_3S , C_3A , C_4AF .

Помимо изучения влияния минералогического состава цемента при виброперемешивании определенный интерес представляет также оценка степени эффективности вибровоздействия на цементы с различными добавками-модификаторами цементного камня.

В Военно-инженерной академии им. В. В. Куйбышева был в свое время проведен комплекс исследований по данной проблематике.

Уже первые опыты по виброперемешиванию раствора жесткой консистенции показали некоторую зависимость эффекта виброперемешивания от минералогического состава цемента (*таблица 8.2.2.1-1*).

№ цемента	Минералогический состав (ориентировочно)		Относительное повышение предела прочности при сжатии вследствие виброперемешивания (%) в возрасте (дни)			Удельная поверхность цемента (г/см ²)
	C ₃ S	C ₂ A	1 день	7 дней	28 дней	
85	60	8	168	148	143	2957
87	50	10	133	106	109	4163
84	40	10	—	103	107	6238

Таблица 8.2.2.1-1

Наибольший прирост прочности раствора, приготовленного виброперемешиванием в вибромельнице *М-10* без шаров, по сравнению с прочностью раствора, приготовленного в стандартной лабораторной растворомешалке, показал высокоалитовый цемент (№ 85). Однако отсутствие полных данных по минералогическому составу цементов, в частности, различие в показателях удельной поверхности, не позволили сделать более определенные выводы.

В связи с этим были поставлены специальные опыты по более детальному выявлению влияния минералогического состава цемента на эффективность виброперемешивания, которая определялась как прирост прочности раствора, перемешанного в вибромельнице *М-10*, по сравнению с приготовленным в стандартной лабораторной растворомешалке.

Для всех серий последующих экспериментов был принят состав раствора пластичной консистенции стандартной пропорции 1:3. Песок – нормальный Вольский (стандарт), В/Ц=0,40–0,43. Цементы различного минералогического состава были приготовлены в лабораторных условиях. Испытания на сжатие проводились на кубиках размерности 3х3х3 см и на балочках 4х4х16 см по стандартным методикам. Результаты опытов приведены в *таблице 8.2.2.1-2*.

Проведенные опыты однозначно подтверждают, что с увеличением содержания в цементе C₃S и C₃A эффективность виброперемешивания значительно повышается.

Этими же опытами была уточнена гипотеза, высказанная еще проф. Штарманом Ю. Я. (см. начало главы), что эффективность виброперемешивания зависит только от соотношения (C₃A/C₃S).

Как оказалось в действительности (и было позднее неоднократно подтверждено опытами других исследователей), эффективность виброперемешивания зависит не только от соотношения (C₃A/C₃S), но и от соотношения (C₃A + C₃S)/100. В меньшей степени на эффективность виброперемешивания оказывает влияние количества двухкальциевого силиката (C₂S) в цементе.

Результаты опытов говорят о том, что эффективность виброперемешивания и виброактивации увеличивается с возрастанием количества в цементе трехкальциевого силиката (C₃S) и трехкальциевого алюмината (C₃A).

№ цемента	Минералогический состав цемента					Вид напряженного состояния	Повышение предела прочности виброперемешанного раствора по сравнению с обычным (%) в возрасте (дни)		
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4A	инертные примеси		1 день	7 дней	28 дней
96	44,8	30,9	2,9	18,7	2,7	Сжатие	151	121	127
						Изгиб	142	112	110
						Растяжение	96	125	125
97	12,5	62,9	5,9	14,7	4,0	Сжатие	–	80	102
						Изгиб	–	83	93
						Растяжение	–	–	110
98	56,5	15,8	8,1	12,7	6,9	Сжатие	189	116	113
						Изгиб	151	104	101
						Растяжение	151	120	110
96*	44,8	30,9	2,9	18,7	2,7	Сжатие	136	111	111
						Изгиб	–	98	115
						Растяжение	–	85	132
94	56,0	13,0	13,0	10,0	8,0	Сжатие	168	118	115
						Растяжение	–	106	117

Примечание:
 Цемент № 96* – это цемент № 96, домолотый в вибромельнице с 40% песка.

Таблица 8.2.2.1-2

№ цемента	Добавка гипса (%)	Удельная поверхность цемента (г/см ³)	Повышение предела прочности раствора вследствие виброперемешивания (%) в возрасте (дни)		
			1 день	7 дней	28 дней
96	0	2917	134	128	124
	3	5609	156	129	136
98	0	3378	152	123	120
	3	6064	158	130	118
98	0	6238	-	103	107
	2	6702	-	116	113

Таблица 8.2.2.2-1

Рассматривая влияние минералогического состава на эффективность виброперемешивания, необходимо учитывать, что последняя, в свою очередь, зависит также от состава и консистенции бетона или раствора, удельной поверхности и кристаллического строения цемента, качества заполнителей и других факторов.

Результаты опытов, приведенные в *таблице 8.2.2.1-2*, показывают и степень влияния виброперемешивания на прочность раствора как при сжатии, так и при растяжении и изгибе. Прирост прочности раствора при растяжении и изгибе вследствие применения виброперемешивания несколько меньше, чем при сжатии. Однако эта разница незначительна и объясняется, по видимому, меньшими возможностями роста прочности при растяжении и изгибе и постепенным отставанием в росте этих характеристик в процессе твердения от повышения прочности раствора при сжатии.

8.2.2.2 Влияние добавок гипса к цементу на эффективность виброактивации

Важным средством повышения активности цемента в ранние сроки является дополнительный помол цемента с добавкой гипса двуводного. Проведенные опыты (которые, кстати, были неоднократно подтверждены другими исследователями) показали, что добавка гипса в большинстве случаев является благоприятным фактором, повышающим, порой значительно, эффективность виброперемешивания.

Опыты проведены на цементно-песчаном растворе (соотношение 1:3, песок – нормальный Вольский, $V\backslash\Pi = 0,4-0,43$) и отражены в *таблице 8.2.2.2-1*.

Следует отметить положительное влияние добавки гипса на увеличение эффекта размола: при прочих равных условиях удельная поверхность увеличивается примерно вдвое.

№ цемента	Технологические приемы для повышения прочности и ускорения твердения	Удельная поверхность цемента (г/см ²)	Предел прочности при сжатии (кг/см ²) в возрасте (дни)		
			1 день	7 дней	28 дней
96	Контрольные, приготовленные в обычной лабораторной растворешалке	2917	35	225	342
	Домол цемента с 3% гипса и виброперемешивание в лабораторной вибромельнице М-10	5609	255	504	590
98	Контрольные, приготовленные в обычной лабораторной растворешалке	3378	74	279	337
	Домол цемента с 3% гипса и виброперемешивание в лабораторной вибромельнице М-10	6064	330	552	578

Таблица 8.2.2.2-2

Совместное применение вибродомола цемента с гипсом и виброперемешивания обеспечивает получение быстротвердеющих и высокопрочных бетонов. Например, прочность раствора в этом случае в 1-дневном возрасте увеличивается в 4–7 раз, а в возрасте 28 суток – в 1,7 раза (см. *таблицу 8.2.2.2-2*).

Для экономии цемента целесообразно использовать совместный домол его с песком. Проведенные опыты показывают, что в этом случае эффективность виброперемешивания несколько понижается (приблизительно на 10–25 %).

8.2.2.3 Влияние температурных факторов твердения цемента на эффективность виброактивации

Для практики строительства определенный интерес представляет влияние на эффективность виброперемешивания условий режима твердения, особенно его температуры. Специальные опыты, результаты которых приведены в *таблице 8.2.2.3-1*, показывают, что хотя с понижением температуры процесс гидратации цемента замедляется, виброперемешивание оказывается эффективным и в этом случае.

Ускорение твердения бетона и раствора вследствие виброперемешивания позволяет сократить время обогрева или выдерживания при положительных температурах бетонных конструкций, возводимых зимой, а в ряде случаев проводить бетонирование без применения специальных операций (электропрогрева, паропрогрева и т. д.), тем самым сокращая сроки и стоимость строительства.

Весьма эффективным является применение виброперемешивания в сочетании с добавками, ускорителями твердения. Совместное применение 2 % добавки CaCl_2 с виброперемешиванием повышает суточную прочность раствора в 2,5–4,0 раза (в зависимости от разновидности цемента).

Температура наружного воздуха (в градусах)	Примененный технологический прием смешения раствора	Прочность на сжатие в кг/см ² в возрасте (дни)	
		1 день	3 дня
+22	Контрольные, приготовленные в обычной лабораторной растворешалке	120	376
	Виброперемешивание в лабораторной вибромельнице М-10	200	436
–2	Контрольные, приготовленные в обычной лабораторной растворешалке	17	38
	Виброперемешивание в лабораторной вибромельнице М-10	35	72
–15	Контрольные, приготовленные в обычной лабораторной растворешалке	10	–
	Виброперемешивание в лабораторной вибромельнице М-10	19	–

Примечание:

Применялся раствор 1:3 при В/Ц = 0.34 на цементе №94 и строительном песке. Через 4 часа после изготовления образцы помещались для выдерживания. За 4 часа до испытания образцы вносились в помещение для оттаивания.

Таблица 8.2.2.3-1

8.2.2.4 Влияние выбора технологической схемы активации на эффективность процесса

В целях выявления наиболее рациональных режимов виброактивации раствора и бетона были проведены сравнительные испытания виброперемешивания и виброактивации растворов с использованием различных технологических способов (см. *таблицу 8.2.2.4-1*).

Если не учитывать затрат энергии на перемешивание, то наиболее рациональным оказалось простое виброперемешивание в вибромельнице М-10.

8.2.2.5 Влияние барометрических характеристик среды на эффективность виброактивации

В ВИА им. В. В. Куйбышева опробован также новый способ перемешивания – вакуумвиброперемешивание бетонной смеси. Простота кинематической схемы вибросмесителей и вибромельниц типа М-10, М-200, М-400 с эллипсоидальными колебаниями корпуса позволяет весьма просто создать вакуум в корпусе смесителя и производить перемешивание бетонной смеси в этих условиях. При таком способе уменьшается количество вовлекаемого в смесь воздуха и воздуха, заземленного в порах материалов, несколько понижается вязкость цементного теста, создаются предпосылки для более быстрого и тщательного перемешивания, хорошего сцепления цементного теста с заполнителем и взаимодействия

Способ приготовления бетонной смеси	Относительное повышение прочности бетона на сжатие (в %) по отношению к контрольным образцам, приготовленным традиционным способом в лабораторной растворомешалке		
	через 1 день	через 3 дня	через 28 дней
В вибромельнице М-10 с вынутыми шарами	147	133	110
В вибромельнице М-10 с вынутыми шарами и раздельным перемешиванием. Сначала вводно-цементная паста с оптимальным В/Ц (по Штаерману) активировалась 3 минуты, затем в активированную цементную пасту добавлялась вода (до В/Ц=0,4–0,43) и нормальный Вольский песок в соотношении 1:3 к цементу, после чего смешивание продолжалось еще 1 минуту.	132	127	107
Сначала вводно-цементная паста с оптимальным В/Ц (по Штаерману) активировалась на лабораторной виброплощадке в течение 5 минут, затем в активированную цементную пасту добавлялась вода (до В/Ц=0,4–0,43) и нормальный Вольский песок в соотношении 1:3 к цементу, после чего смешивание продолжалось еще 1 минуту в лабораторном смесителе.	129	114	115
Сначала вводно-цементная паста с оптимальным В/Ц (по Штаерману) активировалась на лабораторной виброплощадке в течение 10 минут, затем в активированную цементную пасту добавлялась вода (до В/Ц=0,4–0,43) и нормальный Вольский песок в соотношении 1:3 к цементу, после чего смешивание продолжалось еще 1 минуту в лабораторном смесителе.	150	127	108

Таблица 8.2.2.4-1

воды и цемента. По данным, полученным в результате этих экспериментов, прочность тяжелого бетона или раствора, приготовленного в вакуумвибросмесителе, повышается еще на 25–30% по сравнению с изготовленным обычным способом (виброперемешиванием). В качестве вакуумвибросмесителя использовалась переоборудованная лабораторная вибромельница М-10 с вынутыми шарами. Вакуум в корпусе вибромельницы достигал 550 мм ртутного столба.

Особенно эффективен способ вакуумвиброперемешивания при приготовлении бетонных смесей на легких пористых заполнителях, когда существуют определенные проблемы адгезии между заполнителем и цементным камнем (керамзитобетон, перлитобетон, пенополистиролбетон и т.д.). В ходе такого виброперемешивания под разрежением обеспечивается более полное проникновение цементного теста в поры заполнителя, что способствует повышению прочности изделия.

8.2.3 Особенности структурообразования цементного камня в результате виброактивации

Общеизвестно, что физико-механические свойства материала, в том числе и бетона, в большой мере предопределяются его структурой. Под понятием «структура бетона» условимся понимать совокупность макроструктуры, созданной расположением заполнителей, и микроструктуры цементного камня, включая и контактную зону «цементный камень – заполнитель».

Структура бетона является сложной функцией прилагаемых к нему физико-химико-механических факторов.

Макроструктура бетона формируется в результате внешнего механического воздействия на все его составляющие в процессе приготовления и уплотнения бетонной смеси. По большому счету, совершенство макроструктуры бетона отражает его рецептурные пропорции (соотношение между вяжущим, заполнителями и водой), а также степень равномерности их распределения между собой (эффективность смешения).

В то же время микроструктура бетона формируется как под воздействием внешнего механического воздействия, так и под влиянием коллоидно-химических и физико-химических процессов, происходящих в вяжущем (диспергирование цементных зерен, их растворение, с последующей коагуляцией и выкристаллизацией и т.д.).

Характерно, что изменение во времени всех основных физико-механических свойств бетона (прочности, упругости, усадки, ползучести, плотности) в большинстве своем обусловлено именно кинетикой изменения характеристик микроструктуры бетона. Ею мы можем управлять (с той или иной степенью эффективности) как на уровне начального структурообразования цементного камня, так и в процессе первоначального формирования контактных полей между вяжущим и заполнителями. В практическом плане управление микроструктурой цементного камня возможно по пути химического (различного вида добавки и модификаторы в бетон), механического (внешнее механическое воздействие на начальные стадии гидратации цемента) и термического (тепловлажностная обработка) воздействия.

В качестве одного из наиболее эффективных способов модификации параметров бетона как на уровне микро- так и макроструктуры является вибрационное воздействие на бетонную смесь еще на стадии ее приготовления – виброактивация, вибросмешивание. Еще более эффективно механохимическое управление микроструктурой цементного камня, когда на механическое воздействие усиливается твердофазными реакциями (механоактивация) и (или) прямым химическим воздействием химических модификаторов (ПАВ, электролиты, полимеры).

8.2.3.1 Интенсификация процессов гидратации цемента в процессе вибровоздействия

Если рассмотреть микрошлифы цементного камня, приготовленного обычным смешиванием компонентов и в вибросмесителе, отчетливо видна разница. В последнем случае микроструктура цементного камня более диспергирована – кристаллы новообразований гораздо более мелкие. Соответственно, структура цементного камня более однородна, меньше внутренние напряжения и локальные микродефекты, что существенно снижает вероятность появления очагов разрушения – в итоге прочность такого цементного камня будет выше.

Многочисленные эксперименты подтверждают, что под воздействием внешнего механического воздействия (в данном случае вибрационного) процессы гидратации цемента значительно ускоряются (см. *таблицу 8.2.3.1-1*).

8.2.3.2 Эмпирическое прогнозирование характеристик виброактивированного бетона по сравнению с обычным

При изучении влияния вибрационных воздействий на процесс твердения бетона наблюдается характерное явление: абсолютная разность прочностей между виброобработанными и контрольными образцами (приготовленными традиционным способом, без вибровоздействия), которая образуется в начале структурообразования цементного камня, остается близкой к постоянной и в дальнейшем ходе твердения.

Как показали многочисленные исследования, причиной повышенной прочности бетона, подвергнутого вибровоздействию, является уплотнение коагуляционных структур. Причина же постоянства прироста прочности во все временные отрезки твердения бетона заключается в одинаковой интенсивности кристаллизации как виброобработанных, так и контрольных образцов.

Факт постоянства прироста прочности открывает замечательную возможность определять абсолютные значения прочности виброобработанных образцов во время твердения и в связи с этим – эффективность виброобработки, если имеются данные изменений по прочности контрольных образцов и известна начальная разность значений этого параметра. С практической точки зрения

Характеристика цементного камня	Степень гидратации (%)				Прочность на сжатие (кг/см ²)			
	1 день	3 дня	7 дней	28 дней	1 день	3 дня	7 дней	28 дней
Цемент М-600, В/Ц = 0,30, без вибровоздействия (контроль)	1,7	6,4	9,4	10,1	31,5	211,0	245	456
Цемент М-600, В/Ц = 0,30, вибрация при укладке 6 минут	4,9	9,1	8,2	12,6	56,0	298,0	305	555
Цемент М-500, В/Ц = 0,26, без вибровоздействия (контроль)	7,4	11,0	12,1	12,8	125,0	180,0	320	402
Цемент М-500, В/Ц = 0,26, вибрация при укладке 6 минут	7,6	11,1	12,5	13,3	132,0	255,0	432	432
Цемент М-500, В/Ц = 0,26, предварительная виброак- тивация 10 минут + вибра- ция при укладке 6 минут	9,7	12,2	13,4	13,6	216,0	450,0	518	532

Примечание: Цемент Броченского завода

Таблица 8.2.3.1-1 Значения степени гидратации и прочности на сжатие при твердении виброобработанного цементного камня

появляется возможность по данным 12–24 часовых испытаний определить конечную прочность путем пересчета данных контрольного (не виброактивированного) состава, твердеющего в аналогичных условиях с коэффициентом, близким к 1.08. (Повышающий коэффициент был определен экспериментально; он отражает тот факт, что виброобработка не только способствует улучшению коагуляционных структур и ускорению начального структурообразования, но и является причиной некоторого усиления и более полного развития этих процессов в более поздние сроки.)

Вычисление можно вести по следующей простой формуле:

$$R_{\text{вибро}} = 1,08 \cdot (R_{\text{контроль}} + R_{\text{дельта}})$$

где:

$R_{\text{вибро}}$ – вычисляемая прочность виброактивированного образца для заданной длительности твердения;

$R_{\text{контроль}}$ – экспериментальная прочность контрольного (не виброактивированного) образца за тот же период твердения;

$R_{\text{дельта}}$ – абсолютная разность прочностей между виброобработанными и контрольными образцами в возрасте 12–24 часа

8.3 Активированные и специальные цементы как альтернатива высокопрочным, быстротвердеющим и особобыстротвердеющим портландцементам

8.3.1 Теоретические и практические особенности производства высокопрочных и быстротвердеющих цементов из специальных клинкеров

В соответствии с областями применения в технологии бетонов представляется логичным разделить портландцемент на следующие классы: обыкновенный, повышенной прочности, высокопрочные (*ВЩ*), быстротвердеющие (*БЩ*), особобыстротвердеющие (*ОБЩ*).

Обыкновенным называется портландцемент марки *M-400*. К классу цементов повышенной прочности относятся цементы марки *M-500*. К классу высокопрочных – цементы марок *M-550* и *M-600* (ГОСТ 10178–76), а к быстротвердеющим – все цементы с пределом прочности при сжатии не менее 25,0 МПа через 3 суток твердения.

Первые в СССР опытные партии портландцемента с активностью по современной оценке около 55,0 МПа были изготовлены ВНИИЦем на цементных заводах Вольска еще в 1938 году.

Позже, в середине 50-х годов, на Белгородском цементном заводе была выпущена первая опытная партия цемента, соответствующего по активности нынешней марке *M-600*. При выпуске опытных партий применялись очень жесткие и труднодостижимые технологические нормативы, не позволяющие осуществлять массовый выпуск таких цементов.

Для разрешения этих технологических сложностей было предложено решение, суть которого сводилась к целому комплексу достаточно сложных мероприятий, которые, тем не менее, позволяли оптимизировать все технологические переделы, начиная с оптимизации минералогического состава специальных цементов и заканчивая особенностями их измельчения и хранения.

В результате коллективами цементных заводов совместно с узкоприкладными НИИ были выпущены опытные, а затем промышленные партии, и начато постоянное промышленное производство высокопрочного цемента – сначала с активностью 55,0 МПа (марки *M-700* по ГОСТ 970–61) на заводах Брянском, «Октябрь» (Новороссийской группы), Здолбуновском. Впоследствии было освоено также производство цементов с активностью 60,0 МПа на заводах Здолбуновском, «Большевик» (Вольской группы), Белгородском, Брянском, Амвросиевском, Теплоозерском.

Первые опытные партии быстротвердеющего цемента были выпущены в СССР в 30-х годах под руководством В. Н. Юнга и С. М. Рояка. Его промыш-

ленный выпуск начался в 1955 г. для удовлетворения потребностей только что созданной промышленности сборного железобетона, причем первоначальные нормативы по прочности были ниже современных – примерно 10,0–12,0 МПа через 1 сутки нормального твердения и 20,0 МПа через 3 суток твердения при нынешних методах испытаний.

Эффективность применения высокопрочных и быстротвердеющих цементов (ВПЦ и БТЦ) в строительной индустрии обусловлена возможностью повышения марки бетона, уменьшением материалоемкости железобетонных изделий и конструкций, сокращением технологического цикла их изготовления, монтажа, установки под рабочую нагрузку, повышением несущей способности и надежности конструкций, зданий и сооружений. Эти преимущества резко возрастают с повышением активности ВПЦ до 70,0–80,0 МПа.

Кроме того, целые направления производства строительных материалов всецело зависят именно от поставок специальных цементов. Так, например, производство пенобетона становится экономически обоснованным и высоко rentабельным только при использовании быстротвердеющих цементов марок М-500 и М-600.

8.3.1.1 Минералогические особенности высокопрочных и быстротвердеющих цементов

Для получения высокопрочных и быстротвердеющих цементов пригодны только сырьевые смеси с максимальной реакционной способностью, зависящей от физико-химической природы сырьевых материалов, химического состава и дисперсности смесей. Физико-химическая природа сырья – это совокупность геолого-минералогических характеристик основных компонентов (известкового и силикатного), определяющая их химическую активность и сопротивляемость измельчению.

Для производства высокопрочных и быстротвердеющих цементов подходит далеко не всякое сырье, использующееся для производства рядовых цементов. В отдельных регионах, например Средней Азии, выпуск таких цементов вообще невозможен – сырье не позволяет.

Помимо особенностей подбора сырья высокопрочные и быстротвердеющие цементы отличают и определенные сложности при их обжиге: в составе клинкера должны превалировать особые кристаллы алита (трехкальциевый силикат C_3S) строго определенной формы и размеров, с ромбоэдрическим кристаллическим строением.

8.3.1.2 Влияние гранулометрического состава на активность ВПЦ и БТЦ

Цемент получают путем размолла специально обожженного сырья – клинкера. Как и всякий продукт обжига, прошедший процессы плавления-кристаллизации,

Завод (модификация алита в клинкере)	Вид и марка цемента	Удельная поверхность, см ² /г	Содержание в % частиц размером, мкм	
			менее 5 мкм	5–30 мкм
Здолбуновский (R-C ₃ S)	БТЦ-500	2500–3200	12–18	40–50
	БТЦ-550	3200–3700	15–21	45–60
	ОБТЦ-550	3500–3800	18–23	50–65
	ВППЦ-600	4300–6100	25–40	55–70
	ВППЦ-600	4000–4500	21–27	58–68
Новороссийский (M-C ₃ S)	ВППЦ-550	3200–3700	17–20	40–45
	ОБТЦ-550	3800–4000	19–23	42–55
	ВППЦ-600	4500–4700	25–28	55–60
Брянский (M-C ₃ S)	ВППЦ-550	3200–3700	8–12	65–71
	ВППЦ-600	3600–4000	18–20	54–65
Вольский (M-C ₃ S)	ВППЦ-600	3900–4230	14–23	48–65

Примечание:

Все цементы Здолбуновского завода получены помолом в замкнутом цикле, остальные в открытом
ОБТЦ – особобыстротвердеющий цемент $R_{\text{ср}} = 20,0 \text{ МПа}$

Таблица 8.3.1.2-1 Гранулометрический состав цементов, быстротвердеющего, повышенной прочности и высокопрочных (C₃S – 60–65 %, C₃A – 3–7 %)

цементный клинкер обладает определенной субмикроструктурой. Поэтому гранулометрический состав клинкера после помола в шаровых мельницах в основном зависит от характера его внутренней кристаллической структуры – в процессе помола разрушение в первую очередь идет по наименее прочным ее участкам. Этим положением обусловлен тот факт, что наше влияние на зерновой состав продуктов помола барабанных мельниц с шаровой и цилиндропальной загрузкой может быть лишь модифицирующим.

При тонком помоле клинкера нельзя избежать образования мелкой фракции (менее 5 мкм) в количестве 12.5% от половины массы средней фракции (5–30 мкм). При отсутствии сепарации неизбежно останется крупная фракция (более 30 мкм) в количестве 25–50% от массы средней фракции. В цементах из мелкокристаллических клинкеров при прочих равных условиях крупной фракции содержится в 1,5 раза меньше, чем в цементах из крупнокристаллических клинкеров. Гранулометрический состав высокопрочных цементов (таблица 8.3.1.2-1) отличается повышенным содержанием фракции 5–30 и менее 5 мкм, а быстротвердеющих – фракции менее 5 мкм. Коэффициент линейной корреляции между содержанием фракции менее 5 мкм и прочностью цемента через 1 сутки твердения составляет 0,77 (поэтому эта фракция предпочтительна в БТЦ), а между количеством средней фракции и активностью цемента в 28-суточном возрасте – 0,68.

Меньший размер кристаллических блоков алита по сравнению с белитом является вероятной причиной сосредоточения его в мелких фракциях цемента. Так, при 55% алита в исходном клинкере и удельной поверхности цемента $3000 \text{ см}^2/\text{г}$ во фракции менее 5 мкм содержится в среднем 60% алита, а при повышении удельной поверхности цемента до $5000 \text{ см}^2/\text{г}$ – уже 75–80%. Таким образом, на стадии помола происходит существенное изменение химико-минералогического состава цемента, когда разные фракции цемента состоят из разных, по сути, минералов!

Обеднение средней фракции алитом нельзя признать положительным фактором. Напротив, обогащение мелкой фракции белитом помогло бы активизировать его твердение. Это одна из важнейших проблем технологии цементов. Такое распределение минералов достигается в цементах Белгородского и Балаклейского заводов (у них во многом схожая сырьевая база) благодаря дендритной структуре белита, «армирующей» промежуточное вещество клинкера и повышающей его хрупкость. Большее количество белита сосредоточивается здесь в мелкой, а алита – в средней фракциях цемента, чем и объясняются хорошо известные строителям положительные свойства цемента этих заводов: быстрое нарастание прочности, в частности, при пропаривании, высокая трещиностойкость, пониженная усадка и ползучесть.

8.3.1.3 Связь динамики гидратации цементов из специальных клинкеров с их зерновым составом

Исследования показали, что при повышении тонкости помола цемента с $2000 \text{ см}^2/\text{г}$ до $6000 \text{ см}^2/\text{г}$ (при оптимальном содержании гипса для каждого уровня дисперсности), степень гидратации (по содержанию неиспаряемой воды) и прочность в 1–3-суточном возрасте растут, а в 28-суточном увеличиваются лишь до определенных пределов, а затем значительно снижаются. Оптимальная дисперсность помола цемента зависит от минералогических особенностей клинкера, и в первую очередь от преобладания в нем тех или иных модификаций алита.

В некоторых случаях с повышением удельной поверхности цемента с 2000 до $3000 \text{ см}^2/\text{г}$ содержание фракции менее 5 мкм вообще снижается, что может вызвать уменьшение гидратации и отсутствие прироста прочности цемента с одновременным повышением его дисперсности.

Наличие максимума дисперсности цемента, превышение которого приводит к замедлению гидратации, сравнительно «молодое» открытие, тем не менее оно объясняет многие парадоксы, встречающие современных исследователей, которые в попытке получить быстротвердеющие цементы ограничиваются лишь его дополнительным измельчением.

Этот парадокс можно объяснить влиянием двух противоположно действующих факторов – увеличением реакционной поверхности частиц цемента, взаимо-

действующих с водой, и повышением экранирующей способности гидратных новообразований, которые, окружая частицы цемента, препятствуют доступу воды. При $V/C=0,4$ степень гидратации мелкой фракции через 1 сутки равна 100%, средней фракции – 20%, крупная фракция еще практически не прогидратировала.

Через 3 суток вся мелкая и примерно половина всей средней и крупной фракций также прогидратируют. И только через месяц от 60 до 90 процентов всего цемента прогидратирует.

Такая «ступенчатая» гидратация цемента различных фракций формирует механизм (впервые предсказанный Г. Кюлем), при котором зоны контакта между продуктами гидратации средней и мелкой фракций «склеивают» именно продукты гидратации мелкой фракции.

Все это указывает на интенсифицирующее влияние мелкой фракции на гидратацию остальных фракций цемента. Эксперименты по смешиванию цементов различной дисперсности показали, что оптимальное соотношение мелкой и средней фракций в ВПЦ с ромбоэдрическим алитом составляет от 1:4.8 до 1:5.1. Без мелкой фракции ВПЦ получить нельзя в принципе!

8.3.1.4 Основные технологические схемы производства высокопрочных и быстротвердеющих цементов

Основная технологическая схема производства высокопрочных и быстротвердеющих цементов основана на использовании специально подобранных компонентов сырьевого шлама, идущего на обжиг клинкера. Добыча сырья для БТЦ и ВПЦ – очень хлопотное и дорогое мероприятие, так как его отбор на действующих сырьевых карьерах цементных комбинатов приходится вести выборочно. Так, на Брянском заводе отбраковывают запесоченную часть глины и мел из карстовых воронок. На Здолбуновском заводе – глину, содержащую более 20% кварцевых зерен, на Воскресенском – включения окремненного мела (синяки), на Новороссийском – мергели, содержащие глауконит и фосфориты и т.д.

Производство БТЦ и ВПЦ очень жестко нормирует и производство сырьевого шлама – требуется гораздо более тщательное его усреднение (это влечет увеличение емкостей шламбассейнов) и более тонкий помол сырья до частиц менее 40 мкм. В свое время в СССР только Белгородский завод был способен полностью соответствовать требованиям технологического регламента по подготовке шлама для обжига клинкера под специальные цементы.

Особенных сложностей технического порядка на стадии обжига клинкера во вращающихся печах нет – требуемые термические параметры обжига вполне укладываются в характеристики современных печей. И ряд отечественных цементных комбинатов (в частности, Балаклеяский, Каменец-Подольский, Старооскольский) в свое время вполне успешно выводили свои печи на режимы, обеспечивавшие массовый выпуск клинкера высокой активности, из которого впоследствии получали цемент марки М-600 и выше. Но из-за такого нештат-

ного и незапроектированного режима работы (печи все же проектировали под выпуск рядовых цементов) требовалось увеличивать расход топлива на обжиг (повышать температуру в зоне спекания) и искусственно понижать производительность печей на 10–15 % (для стабилизации зоны спекания).

Особенности технологии производства ВПЦ и БТЦ также имеют существенные отличия от традиционной схемы производства рядовых цементов и на стадии помола. Основной особенностью режима измельчения БТЦ и особенно ВПЦ – применение в шаровых мельницах шаров минимально возможного среднего диаметра. Это, в свою очередь, делает практически невозможным использование для помола БТЦ и ВПЦ мощных и высокопроизводительных барабанных мельниц большого диаметра (либо существенно снижать скорость их вращения).

Все это вместе обуславливает тот факт, что даже современные мельницы, работающие в замкнутом цикле с сепарацией, при помоле БТЦ и ВПЦ показывают производительность на 40–50 % меньшую, чем при помоле рядовых цементов.

Мало того, все дорогостоящие ухищрения по выпуску высококачественных быстротвердеющих и высокопрочных цементов могут быть полностью нивелированы всего за несколько месяцев хранения. Даже в битуминизированных пятислойных мешках цемент при хранении теряет от 5 до 15 процентов активности в месяц!

Поэтому сложности, о которых сказано выше, во все времена служили причиной крайне недоброжелательного отношения цементных заводов даже к самой идее наладить массовый и постоянный выпуск БТЦ и ВПЦ. И только в случаях, когда для самых ответственных объектов военной инфраструктуры и среднего машиностроения требовались такие высококачественные цементы, «твердая рука Кремля» могла сподвигнуть цементные комбинаты на подобного рода свершения.

Следует ли удивляться, что в отсутствие этой «твердой руки» БТЦ и ВПЦ также напрочь исчезли с отечественного рынка цемента; объективные экономические предпосылки для их выпуска еще не сложились – дешевле такие цементы экспортировать, если в том возникает нужда.

(Вполне возможно, что подорожание цемента в России сформирует более благоприятную конъюнктуру, когда массовое применение БТЦ и ВПЦ станет экономически целесообразным. И тогда отечественный строительный рынок опять, как и четверть века назад, с восторженным придыханием и восхищением будет смаковать эти чарующие любого заводского технолога аббревиатуры: БТЦ, ОБТЦ, ВПЦ.)

8.3.1.5 Альтернативные схемы производства высокопрочных и быстротвердеющих цементов

Многочисленными исследованиями было установлено, что небольшие добавки модифицирующих и легирующих веществ, вводимых на стадии пригот-

характеристики цемента. Так, на цементных заводах Воскресенской группы был использован фосфогипс в качестве легирующей добавки к клинкеру – в результате на этих заводах был налажен производственный выпуск клинкера, позволяющего стабильно выпускать цемент марок М-550 и М-600.

Начиная с 1930 г., в СССР велись обширнейшие работы по применению галогенидов в качестве минерализаторов при обжиге клинкера для производства высокомарочных цемента. И если советские ученые ограничились только опытно-промышленными партиями высокомарочных цемента, произведенных по этому способу, США «купились» на эту технологию и даже организовали в свое время (1968 г.) выпуск так называемого «цемента с регулируемыми сроками схватывания» (*RSC*). Правда, вскоре его производство было прекращено.

Введение в состав сырьевой смеси, помимо галогенидов, дополнительных корректирующих добавок позволило получить в Японии сверхбыстротвердеющие цементы (*СБТЦ* – коммерческое название «*Джэст-цемент*») с прочностью 20–22 МПа через 6 часов нормального твердения. Впоследствии японское ноу-хау было успешно реализовано в США, Германии, Австрии и Швейцарии, где освоен промышленный выпуск таких цемента.

В освоении производства СБТЦ Советский Союз, как всегда, пошел своим путем. А действительно, почему бы создание высокопрочных гидратационных структур, образующихся в цементном камне при использовании специальных (жутко дорогих и не технологичных – смотри выше) цемента БТЦ и ВПЦ, не порекомендовать иному химическому механизму? Скажем, модифицировать не химический состав гидратных новообразований, а напрямую управлять процессами их кристаллизации.

Школьные опыты кружка «Юный химик» по выращиванию кристаллов из пресыщенных растворов при помощи затравки-кристаллизатора решено было применить на практике – для моделирования процессов кристаллизации гидратных новообразований цементного камня посредством специальных добавок, кристаллических затравок – крентов.

Считается общепризнанной точка зрения, высказанная Е. Е. Сегаловой и П. А. Ребиндером (это корифеи мирового бетоноведения, кто не знает): для создания наиболее прочного кристаллического сростка необходима оптимальная величина пересыщения раствора, при которой сросток не только образуется, но и обрастает все новыми и новыми кристаллами. Один из наиболее эффективных способов пресыщения концентрации раствора для увеличения числа образующихся кристаллов и их сростков в цементном камне – введение специальных кристаллизационных компонентов (крентов), играющих роль исходных реагентов и одновременно затравок для синтеза гидратных новообразований. (Затравки только из одних готовых гидратов оказались неэффективными.)

Гелевидная матрица твердеющего цементного камня испытывает серьезные растягивающие напряжения, обусловленные контракционными явлениями в нем. Поэтому предварительное сжатие этой матрицы было бы весьма полезно для повышения прочности цементного камня. И действительно, как оказалось, введение в обычный портландцемент молотого сульфоалюминатного клинкера в качестве исходного реагента для синтеза расширяющейся фазы повысило прочность такой композиции с 5,0 до 10,0 и с 50,0 до 60,0 МПа, соответственно, через 10 часов и 28 суток твердения. (Налицо сильный ускоряющий эффект на начальной фазе твердения.)

Более эффективно введение в цемент кристаллизационного компонента, являющегося затравкой и реагентом для синтеза «геля» и расширяющейся фазы, погруженной в этот «гель». Предварительное напряжение такого «геля» возможно потому, что он представляет собой не глобулярный гель, а конгломерат субмикроструктур. При этом «гель» более однороден, а расширяющаяся фаза лучше закристаллизована и защищена диффузионным барьером «геля» от изменений концентрации, характерных для жидкой фазы цементного камня в начальный период гидратации, а также от отсоса влаги впоследствии.

Один из предложенных в НИИцементе крентов, вводимый в цемент в количестве до 10 %, содержит аморфную окись или гидроокись кремния (реагент и затравка для «геля»), гидроокись и сложные сульфаты алюминия (реагент и затравка для этрингита). К нему близок по составу «сульфоалюмосиликатный продукт», использованный в работах Южгипроцемента. Эти кренты получают при различных способах обжига и кислотной обработки глин. Их добавление к цементу марки 600 повышает прочность с 5,0 до 14,0–18,5 МПа через 10 часов твердения и с 60,0 до 70,0–85,0 МПа через 28 суток. Строительно-технические свойства цемента с крентами практически аналогичны ВПЦ, но сроки схватывания короче – начало через 20–45 мин. Это надо учитывать при использовании СБТЦ и цементов с крентами, обеспечивающих «беспропарочную» технологию сборного железобетона.

8.3.2 Высокопрочные быстротвердеющие бетоны на предварительно глубокогидратированном цементе

Многолетний анализ процессов, протекающих при взаимодействии цемента с водой, привел к выводу, что твердение вяжущих веществ – внутренне противоречивое явление, при котором происходят не только структурообразующие, но и деструктивные процессы. Такие процессы приводят к возникновению растягивающих напряжений в цементном камне, которые при некоторых неблагоприятных обстоятельствах способны интенсивно развиваться, что сильно понижают прочность бетона.

По этой причине повышение тонкости помола цемента и гидротермальная обработка изделий приводят к ускорению твердения бетона и повышению его прочности лишь при определенных условиях и до определенного предела.

Одним из главных и неизбежных источников возникновения растягивающих напряжений, проявляющихся даже при изотермических условиях твердения бетона, является так называемое диспергационное давление, развиваемое продуктами гидратации, выделяющимися внутри капилляров цементного камня.

Как известно, частицы продуктов гидратации в 100 и даже 1000 раз меньше исходных цементных зерен. Благодаря этому при полной гидратации одного зерна цемента образуется несколько миллиардов новых мельчайших частиц. Эти частицы занимают гораздо больший объем, чем объем исходного зерна цемента, поскольку между ними неизбежно появляются промежутки, которых не было в исходной плотной цементной частице. Объем этих промежутков зависит от плотности укладки новообразования, которая, в свою очередь, зависит от скорости их возникновения, уменьшаясь с ее возрастанием.

Расчеты и экспериментальные данные показывают, что по указанным причинам видимый (габаритный) объем новообразований значительно больше, чем сумма объемов, вступивших в реакцию цемента и воды. Поэтому гидратирующаяся цементная частица, на поверхности которой выделяются новообразования, постепенно «набухает», в результате чего через некоторое время весь объем капилляров оказывается заполненным твердыми продуктами гидратации данной плотности упаковки. Дальнейшая гидратация приводит к тому, что вблизи поверхности цементной частицы новая порция новообразований уже не может разместиться с той же плотностью упаковки, что и предыдущая. В этом месте возникает напряжение – диспергационное давление, часть которого уплотняет структуру и повышает прочность цементного камня, но другая часть создает растягивающее усилие внутри цементного камня. Доля диспергационного давления, превращающаяся в растягивающее усилие, возрастает и может существенно понизить прочность цементного камня и бетона.

Если же процесс гидратации цемента осуществить частично, в условиях еще не сложившейся структуры, то понизятся растягивающие напряжения, а значит, повысится прочность бетона. Такой процесс можно осуществить путем домола цемента в водной среде при помощи вибрационных или шаровых мельниц. В этом случае, помимо собственно домола цемента, происходит и активизация его гидратации под воздействием значительных механических возмущений от мелющих тел.

Многочисленными опытами было установлено, что наибольший эффект от предварительной глубокой гидратации цемента достигается при накоплении 15–20% новообразований и домоле исходного цемента до удельной поверхности 5500–6000 см²/г. Подобным способом давно и успешно изготавливали бетоны, которые на несколько марок превосходили марочность используемого цемента.

8.4 Механоактивация вяжущих и заполнителей

8.4.1 Изменение физико-химических свойств в ходе механоактивации при тонком измельчении минеральных веществ

Разрушение твердых упругих хрупких тел, к которым относится большинство минеральных веществ, применяемых в строительной индустрии, отличается рядом особенностей. В частности, тем, ЧТО происходит под влиянием повторяющихся воздействий силами, далеко не достигающими предела упругости.

Этот вид разрушения, известный под названием «усталость металла», хорошо изучен и проявляется, например, в выкрашивании или отслаивании чешуек металлов в подшипниках качения. Причины такого разрушения – в накоплении энергии слабых механических сил в некоторых зонах остаточного напряжения. Многократно повторяющиеся циклы «нагрузка-разгрузка» способны вызвать разрушение материала, хотя силы воздействия могут быть намного ниже предела прочности разрушающегося материала.

Упруго-хрупкие тела способны аккумулировать энергию механических сил в некоторых зонах остаточного напряжения и самопроизвольно разрушаются после накопления в упомянутых зонах критического количества энергии.

При разрушении накопленный энергетический потенциал разряжается, излучая тепло, свет, электричество. Кроме того, часть этого потенциала трансформируется в энергию свежесформированной поверхности, а часть остается в приповерхностных слоях и диссипирует впоследствии.

Накопленная измельченным веществом энергия, не выраженная в увеличении температуры, проявляется в повышении химической активности, снижении температуры плавления, спекания, термической диссоциации и в других физико-химических явлениях. Измельченное вещество характеризуется как активированное, а измельчение веществ рассматривается как их активация. Изменение энтальпии измельченного вещества складывается из совокупности изменений поверхностной и внутренней энергии зон остаточных напряжений.

Рассмотрим оба слагаемых порознь, начав с внутренней энергии, поскольку формирование зон остаточного напряжения предшествует разрушению.

8.4.1.1 Изменение внутренней энергии активированного минерального вещества

Физическая сущность изменений вещества в зонах остаточного напряжения не имеет четкого и однозначного определения. По мнению одних исследователей, энергия деформированного объема накапливается в виде сил упругости. Другие считают, что в зонах остаточных напряжений происходит «нарушение строения вещества, подобное нарушениям, вызываемым тепловыми колебаниями»; было

даже предложено определить накопившуюся таким способом энергию как «энергию застывших тепловых колебаний». Третьи отождествляют активацию кристаллических веществ (в частности, кварца) как их аморфизацию.

Многие специалисты в области химии твердого тела объясняют активацию веществ при измельчении деформациями кристаллической решетки и дислокациями в твердом теле.

Более широкая формулировка, объясняющая физическую сущность активации, включает представления об изменении межионных расстояний в кристаллических телах или межатомных расстояний в твердом теле любого строения, не превышающих, однако, тех изменений, которые могут иметь место при нагревании вещества ниже точки плавления. Эти изменения, накапливаясь и локализуясь в определенных объемах, приводят к разрушению твердых тел.

Механическое измельчение в этом случае представляется как периодический процесс аккумуляции энергии в зонах остаточных напряжений и разрядки накопленной энергии в акте разрушения. Периодичность процесса накопления энергии в зоне остаточных напряжений и разрядки ее при разрушении реализуется, несмотря на статистически равное соотношение заряжающихся и разряжающихся частиц, в измельчающем аппарате.

Измельчение есть образование новой поверхности, вступающей в соприкосновение с другой фазой (газ, жидкость). На разделе фаз формируется поверхностный слой, который характеризуется сгущением энергии из-за отсутствия компенсирующих связей. Изменение поверхностной энергии измельченного вещества измеряется работой, которая необходима для обратимого и изотермического образования поверхностного слоя вновь образованной поверхности.

Мало того, огромная энергия зон остаточного напряжения, образующихся в процессе измельчения, локализуется в тонком (молекулярной толщины) поверхностном слое. Чем больше вновь образовавшаяся в результате измельчения поверхность, тем значительнее поверхностная энергия, вне зависимости от способа измельчения. Совершенно очевидно, что работа разрушения (и, естественно, поверхностная энергия измельченного материала) не зависит от способа измельчения, всецело определяясь свойствами измельченного материала и степенью его дисперсности.

Поверхностная энергия минералов, даже измельченных до очень высокой степени дисперсности, составляет несколько килокалорий на моль. Это, казалось бы, противоречит известным фактам высокой энтальпии тонкодисперсных минеральных систем. Объяснение этого противоречия лежит в плоскости физического смысла удельной поверхностной энергии.

По своему физическому смыслу удельная поверхностная энергия твердых тел аналогична поверхностному натяжению жидкостей и определяется работой выведения частицы вещества на поверхность раздела фаз. Для жидкостей,

образующих сферическую каплю, величина поверхностного натяжения не зависит от положения частицы на сфере. Но для твердых тел, образующих при измельчении угловатые осколки, работа выведения частицы на грань осколка, например кубической формы, меньше работы выведения частицы на ребро этого куба, а она, в свою очередь, меньше работы по выведению частицы в угол, образованный пересечением трех граней куба.

Следовательно, удельная поверхностная энергия твердого тела изменяется в процессе измельчения, так как с увеличением степени дисперсности относительное количество частиц, обнаженных по двум и трем плоскостям, увеличивается.

По расчетам С. И. Голосова, изобретателя центробежно-шаровой мельницы, при измельчении кварца от 10 до 0,01 мкм (в 1000 раз) количество молекул SiO_2 (в % от общего числа молекул в частице), выведенных на поверхность граней куба, возрастает с 0,01 до 20 % (увеличивается в 2000 раз). При этом количество молекул, сосредоточенных в ребрах куба, возрастает с 0,000001 до 1,35 % (увеличивается в 1 350 000 раз!).

Естественно, подобные процессы преобразования подводимой механической энергии измельчения в потенциальную энергию, с ее аккумуляцией в форме увеличившегося химического реакционно способного потенциала измельчаемого вещества, весьма затратны. Причем по мере увеличения дисперсности измельчаемого вещества прирост удельной поверхности сопровождается все большими затратами подводимой энергии. Так, если за первые 20 часов измельчения, к примеру, кварца удастся обеспечить прирост удельной поверхности на $15 \text{ м}^2/\text{г}$, то за следующие 20 часов всего на $5 \text{ м}^2/\text{г}$, поскольку все большая часть подводимой энергии уходит на выведение элементарных частиц кристаллической решетки в позиции более высокого энергетического потенциала – в ребра или углы осколков.

Отдельно следует оговорить разницу в энергозатратах для достижения одинаковой удельной поверхности при измельчении на воздухе и в какой либо жидкости, например воде. Удельная свободная поверхностная энергия на границе двух фаз определяется разностью их полярностей. За меру разности полярностей двух соприкасающихся фаз принимают работу изотермического переноса одной молекулы из одной фазы в другую. Очевидно, чем больше разность полярностей фаз, тем больше концентрация энергии в поверхностном слое, и поэтому измельченное «всухую» вещество характеризуется большей активацией, чем то же вещество, измельченное в воде.

Подобная закономерность в различиях характера распределения энергии, подводимой к измельчаемому материалу, справедлива для любых материалов и любых измельчающих устройств. При сухом (на воздухе) измельчении прирост свободной поверхности очень быстро прекращается – дальнейшее пребывание материала в мельнице сопровождается уже аккумуляцией энергии

в зонах остаточных напряжений, что впоследствии проявляется в повышенной реакционной способности такого материала.

Измельчение в воде, напротив, характеризуется непрерывным ростом свободной поверхности и незначительным увеличением растворимости. Энергия измельчающего аппарата в данном случае расходуется в основном на прирост свободной поверхности. Если, как показывает опыт, активированный сухим измельчением материал смочить и подвергнуть кратковременному механическому воздействию, то свободная поверхность резко возрастет и сравняется с поверхностью, полученной измельчением в воде: аккумулированная в зонах остаточного напряжения энергия разрядится в поверхностную энергию. В общем случае следует полагать, что энергия, аккумулированная при сухом измельчении, отличается от накопленной при измельчении в воде на величину теплоты смачивания.

В любом случае измельчаемое кристаллическое вещество приобретает избыточную энергию, накопленную либо в виде энергии поверхностных слоев, либо в виде зон остаточных напряжений. В соответствии с принципом Ле Шателье, в системе, содержащей минеральное вещество, активированное измельчением, должны протекать процессы, поглощающие избыточную энергию. Такими процессами могут быть химические реакции или физические превращения кристаллических тел. Превращения веществ во время приложения механических сил принято называть механохимическими реакциями или механохимическими превращениями. Известно более 20 механохимических превращений, суть которых – изменение энергетического состояния вещества.

8.4.1.2 Возможные физико-химические эффекты механоактивации

Изменение запаса потенциальной энергии измельченного вещества обусловлено накоплением энергии вследствие увеличения свободной поверхности и аккумуляцией энергии в кристаллической решетке с одновременным расходом подводимой энергии на тепловые, световые и звуковые излучения и экзoeлектронную эмиссию. Для целей практической применимости механоактивирующих методов достаточно ограничиться рассмотрением изменчивости физического состояния и химического состава измельчаемых веществ, опустив (несмотря на их важность для научного понимания сути проблемы) неизбежные потери энергии на попутные явления, сопровождающие процессы измельчения и активации.

Проведенные до настоящего времени исследования позволяют составить достаточно полный перечень физико-химических изменений минерального вещества при диспергировании и привести соответствующие примеры, иллюстрирующие изменение состояния и свойств вещества вследствие приложения механических сил.

К наиболее характерным изменениям строения и состава минералов при их измельчении можно отнести следующие:

Переход вещества в новую модификацию

Например, переход кальцита в арагонит при измельчении. Данный эффект был впервые зафиксирован при длительном растирании кальцита в ступке. Затем он был многократно подтвержден в ходе промышленного измельчения кальцита в вибромельницах.

Еще один пример, который наблюдается даже визуально: сульфид кадмия, изначально желтого цвета, после активации переходит в одну из своих модификаций. При этом его цвет меняется на красный.

Аморфизация вещества

Кристаллические вещества простого состава (кварц, графит и др.) в процессе сильного измельчения аморфизуются.

Дегидратация и гидратация

Ярким примером дегидратации при активации минеральных веществ служит потеря воды при сухом измельчении гипса. Двуводный гипс при измельчении в планетарной мельнице теряет кристаллизационную воду и образует эмалеподобную массу, обволакивающую мелющие тела, в результате чего полностью прекращается измельчение. Это явление служит серьезным препятствием для получения тонкодисперсных фракций гипса.

Напротив, при измельчении некоторых минеральных веществ в воде наблюдается их гидратация. Наиболее яркий пример – предварительная глубокая гидратация цемента осуществляется его измельчением в водной среде.

Диссоциация карбонатов

Известь получают в ходе термической диссоциации – в специальных печах под воздействием нагрева от известняка (мела, доломита, мрамора и т.д.) «отщепляется» углекислый газ. Аналогичные процессы происходят и при нормальной температуре – в ходе тонкого измельчения этих минералов.

Разложение сложных карбонатов (двойных солей) на простые

При тонком измельчении доломит (двойная соль), например, распадается на более простые составляющие – кальцит и магнезит.

Синтез или диссоциация карбонатов

В зависимости от параметров среды в процессе тонкого измельчения возможны реакции или синтеза, или диссоциации карбонатов. Так, измельчение окислов щелочно-земельных металлов в среде углекислого газа обуславливает синтез карбонатов. При измельчении в вакууме идет обратный процесс – «отщепление» углекислоты и диссоциация карбонатов.

Твердофазные реакции

Имеется множество примеров твердофазных реакций, инициированных посредством измельчения. Среди них такие, как образование силиката натрия при совместном измельчении безводной соды с силикагелем, получение металлической ртути при сухом измельчении киновари медными шарами, разложение нитратов щелочных металлов и т. д.

Ионное замещение

О возможности ионного замещения в минералах, подвергшихся механохимической активации, упоминается еще в трудах исследователей 60-х годов. Известно, что измельчение слюды в стальных барабанах в водной среде сопровождается замещением ионов магния и алюминия ионами железа. Причем слюда сохраняет абсолютно все свои характеристики, но превращается в свою «высокожелезистую» разновидность. Данный эффект впоследствии нашел широкое применение в модификации реактивного топлива для стратегических ракет.

Изменение структуры и координационного числа атомов в кристаллах при измельчении

Экспериментально прослежено превращение диоктаэдрических слюд (мусковит) в триоктаэдрические слюды (биотит и вермикулит) при их измельчении в планетарных мельницах.

Деструкция минерального вещества при диспергировании

Многочисленными исследованиями установлено, что первая стадия ионного замещения без разрушения структуры в дальнейшем, при продолжении активации, сменяется стадией глубокой перестройки измельчаемого материала. Так, например, измельчаемый нефелин переходит в альбит и далее в минералы группы каолинита. В самом общем виде процесс деструкции алюмосиликатов при их измельчении в водной среде представляется последовательным уходом сначала щелочных и щелочноземельных металлов, затем элементов полуторных окислов и титана и, наконец, кремнезема. Конечной стадией механохимической деструкции минералов и горных пород являются аморфные гидратированные простые окислы SiO_2 , Al_2O_3 , FeO_3 и т. п.

Одна из разновидностей механохимической деструкции минеральных веществ при диспергировании – экстракция и селективное выщелачивание отдельных компонентов. Так, первым применением планетарной мельницы в практике лабораторных работ стало использование ее в качестве экстрактора-измельчителя. Экстракция с измельчением отличается большой эффективностью; к примеру, время экстрагирования битуминозных компонентов горных пород сокращается с 4–6 месяцев до 4–6 минут.

Развитие метода избирательного растворения отдельных компонентов при измельчении горных пород пошло по пути селективного выщелачивания нужных элементов непосредственно из горных пород, минуя стадию обогащения, плавления и т.д. Таким способом стало возможным добывать калий и алюминий непосредственно из алюмокалиевого силикатного сырья, не растворяя при этом пустую породу.

Механохимические реакции между органическими и неорганическими веществами

Чрезвычайно интересны и перспективны реакции органических веществ на свежесформированной поверхности металлов – они открывают совершенно новые технологические возможности при изготовлении множества органических веществ.

Так, измельчение алюминия в среде четыреххлористого углерода позволяет получить шестихлористый этан (перхлорэтан – растворитель для лакокрасочной промышленности).

Если различные металлы тонко измельчать в растворе жирных кислот, то образуются соответствующие мыла, и даже благородные металлы образуют соли жирных кислот, что в обычной химической технологии практически невозможно. Отсюда один шаг до кардинальной смены всего технологического регламента изготовления мыла – путем простой механоактивации жирных кислот с соответствующими металлами.

8.4.2 Изменение физико-химических свойств после механоактивации при тонком измельчении минеральных веществ

Итак, во время приложения механических сил происходят различные химические реакции и изменения строения вещества. Структура и строение вещества изменяются под действием непрерывно подводимой механической энергии и, в соответствии с принципом Ле Шателье, направлены на поглощение подводимой энергии. Следовательно, при измельчении идет повышение энергетического потенциала вещества, обусловленное двумя слагаемыми: приростом энергии свободной поверхности и аккумуляцией энергии в зоне остаточного напряжения.

Второе слагаемое есть энергия деформации кристаллической решетки, другими словами, энергия изменения межатомных (межионных) расстояний. Изменение положения элементарных частиц, слагающих кристаллическое тело, подобное нарушениям, вызванным тепловыми колебаниями, возбуждается импульсами механической энергии, а их консолидация обусловлена закалкой – быстрым охлаждением или, точнее, отсутствием высокой температуры.

Накопленная в зоне остаточного напряжения энергия может разрядиться трещиной или сколом с соответствующим переходом энергии в световые и звуковые колебания, кинетическую энергию упругого отскока и энергию новой поверхности. В общем случае процесс измельчения кристаллических упруго-хрупких тел состоит из непрерывно-прерывистого накопления энергии в зонах остаточного напряжения и скачкообразной разрядки аккумулярованной энергии. Причем формы разрядки энергии, накопленной при измельчении минеральных веществ и проявляющейся после измельчения, могут быть разными; в одних случаях они полностью дублируют и продолжают реакции и эффекты, проявляющиеся в активируемом веществе непосредственно в ходе самой активации (аморфизация, дегидратация, диссоциация, разложение и синтез, ионнозамещающие и твердофазные реакции и т.д.), в других – возникают принципиально новые явления, обусловленные эффектами изменения физико-химических свойств и энтальпии активированных веществ.

8.4.2.1 Изменение теплоты смачивания после механоактивации

Кристаллический кварц по сравнению с аморфным кремнеземом имеет меньшую теплоту смачивания: первому соответствует 200 эрг/см^2 , а второму – от 600 до 800 эрг/см^2 . Измельчение кварца в вибромельнице способствует его аморфизации. Причем чем дольше идет процесс измельчения-активации, тем сильнее параметры измельчаемого продукта, и в первую очередь теплота смачивания, приближаются к характеристикам силикагеля – аморфной разновидности кварца. Исследования показывают, что через $80\text{--}10$ часов измельчения весь кварц превращается в силикагель.

8.4.2.2 Повышение растворимости минералов после механоактивации

Механоактивация способствует аморфизации минеральных веществ (кварц-силикагель). В свою очередь, дальнейшая механоактивация способствует повышению растворимости полученных продуктов.

Так, в процессе механоактивации кварцевого песка его наружные слои последовательно претерпевают сначала аморфизацию а затем повышается растворимость таких аморфизированных слоев. В итоге каждая песчинка состоит из трех концентрических объемов. Внутри – кристаллический кварц, его покрывает слой аморфного кремнезема, и на самом верху – пленка аморфного кремнезема повышенной растворимости. Все вместе это способствует образованию прочных контактных зон между кристаллами кварца (песок) и вяжущим (известь) с частичным образованием гидросиликатов даже без автоклавирования (феномен силикальцита).

8.4.2.3 Изменение сорбционной способности порошков

Несмотря на огромное количество работ, посвященных сорбционной активности минеральных порошков, количественной теории этого явления еще пока нет. Причина – разнообразие и параллельное осуществление физико-химических механизмов молекулярной сорбции одновременно (адсорбция, абсорбция, хемсорбция, капиллярная конденсация, диффузия, миграция по стенкам пор и т. д.). В то же время связь сорбционной способности порошка с площадью свободной поверхности – факт установленный.

Исследование активации кристаллических минералов в процессе механоактивации экспериментально подтвердило, что их сорбционная активность увеличивается не только под влиянием прироста свободной поверхности в результате измельчения, но также и из-за изменения состояния вещества в зоне остаточного напряжения, происходящего вследствие механоактивации. Вполне возможно, что это способствует более яркому доминированию именно хемсорбционных процессов.

И хотя достаточно прочную научную базу под это явление еще не подвели, тем не менее узко практическую пользу уже научились извлекать. Например, вяжущие низкой водопотребности (ВНВ) были предложены в свое время как способ, во многом базирующийся именно на увеличивающейся сорбционной (в данном случае – хемсорбционной) способности минеральных порошков в процессе механоактивации. Так, совместный помол цемента с ПАВ (Суперпластификатор С-3) позволил получить качественно новое вяжущее.

8.4.2.4 Изменение энтальпии активированного вещества

Энтальпия как функция термодинамической системы характеризует количество теплоты, подведенной к системе. Если активация вещества происходит при определенном режиме работы активирующего измельчителя и при достаточном отводе тепла, то нарушения в кристаллической решетке минерального вещества способны проявиться впоследствии в изменении его энтальпии при определенных условиях – скажем, при нагревании до температуры начала деформации кристаллической решетки. Тогда внешней тепловой энергии, затрачиваемой на деформацию кристаллической решетки, «помогает» ее дефектность. Все это проявляется в понижении температуры плавления и спекания веществ, прошедших предварительное диспергирование в активирующих измельчителях.

Энергия, накопленная в результате активации вещества, способна релаксировать – саморазряжаться во времени, но процессы эти во многом зависят от природы минерала и параметров окружающей среды. Скажем, для кварца период релаксации (дессипации) энергии исчисляется годами при комнатной температуре и несколькими сутками – при температуре около 100 градусов. В то же время

цементные полиминеральные системы способны диссипировать накопленную энергию в течение нескольких часов уже при комнатной температуре.

Изменения, происходящие с минеральными веществами во время приложения механических сил и сопровождающиеся переходом в состояние, характеризующееся более высокой энтальпией (например, переход кварца в аморфный кремнезем сопровождается изменением энтальпии в 2,5 Ккал/моль), могут быть причиной самых различных «эффектов последствия», рассмотренных ниже.

8.4.2.4.1 Химические формы разрядки энергии, аккумулированной в ходе механоактивации

В общем случае можно утверждать, что энергия, аккумулированная в активированном деформационном объеме, сохраняется измельченным веществом в «замороженном» виде определенное время, и при соответствующих условиях разряжается в химических реакциях.

Трение и удар порождают внутреннее движение соответственных тел – молекулярное движение, дифференцирующееся в зависимости от обстоятельств на теплоту, электричество и т.д. Однако это движение только временное. На известной ступени все они превращаются в перманентное молекулярное изменение, выражающееся в тех или иных химических превращениях. Можно перечислить следующие основные формы разрядки энергии, накопленной в результате механоактивации:

Увеличение энергетического потенциала тонкодиспергированного минерального вещества

Характерным примером увеличения внутреннего энергетического потенциала тонкодиспергированного минерального вещества служит снижение теплоты термической диссоциации карбонатов. Уже 15-минутное измельчение, например, кальцита в вибромельнице способно в несколько раз уменьшить энтальпию его диссоциации. На практике это означает, что энергозатраты на получение обжиговых минеральных вяжущих веществ (цемент, известь) можно значительно уменьшить, если подвергнуть сырьевые шламы предварительному помолу не в обычных, а в активирующих помольных агрегатах. Особенно актуально это может быть для производства извести в «кипящем слое».

Облегчение реакций дегидроксилирования

Многие металлы присутствуют в земной коре в форме оксидов и гидроксидов. Из таких руд добывают, например, алюминий. Одной из стадий подготовки алюминийсодержащих руд является их дегидроксилирование (выделение воды при взаимодействии двух ОН-групп). Помол гидралгилитовых бокситов в специальных мельницах-активаторах в течение 30 минут снижает температуру дегидроксилирования втрое.

Изменение кинетического фактора химических реакций

Энергия, накопленная веществом во время диспергирования, проявляется в изменении кинетического фактора некоторых химических реакций, которые являются термодинамически выгодными, но протекают слишком медленно. Например, металлическое железо должно реагировать с водой, вытесняя водород. Но эта реакция при $+25^{\circ}\text{C}$ практически не идет. Чтобы изменить кинетику реакции, железо нагревают до красного каления и над ним продувают водяной пар. И хотя в этих условиях реакция термодинамически невыгодна, но она протекает достаточно быстро и в нужном направлении благодаря удалению из зоны реакции образующегося водорода. На этом основан железо-паровой способ промышленного получения водорода.

Металлическое железо, активированное измельчением, достаточно быстро реагирует с водой при комнатной температуре, и реакция «железо – вода» может рассматриваться как важная веха на пути человечества к альтернативным источникам энергии.

Сернистое железо (безобиднейшее вещество!), будучи активированным в вибромельнице в среде сероводорода, превращается в сильный пирофор – оно самовозгорается со взрывом на воздухе при подсыхании. Аналогично ведут себя и тонкодиспергированные и активированные соединения меди.

Снижение энергетического барьера химических реакций

Тонкое измельчение является средством снижения энергетического барьера, препятствующего протеканию некоторых термодинамически выгодных реакций. На первый взгляд безопасные вещества в результате тонкого измельчения с активацией становятся способны вступать в химические реакции, но с гораздо большим экзотермическим эффектом, вызывающим саморасплавление и даже взрыв.

Примером таких бурно реагирующих смесей служат смеси окислов щелочно-земельных металлов с нитратами, сульфатами и другими солями кислородных кислот. Если обычные, спокойно протекающие реакции таких смесей начинаются только при некоторой характеристической, достаточно высокой температуре, не зависящей от природы соли, то ее предварительная активация при измельчении способна значительно понизить температурный порог начала реакции.

Аналогично солям кислородных кислот, с окислами щелочно-земельных металлов реагируют минералы класса сложных окислов (шпинелиды), причем температура начала реакции зависит опять-таки от степени активации веществ при измельчении.

Ускорение окислительно-восстановительных реакций

Повышение химической активности минеральных веществ после диспергирования способно проявиться также и в ускорении окислительно-восстано-

вительных реакций, вследствие чего многокомпонентная система, включающая твердую, жидкую и газообразную фазы, стремится к электрохимическому равновесию.

Изменение сорбционной способности

Повышенная химическая активность измельченных минеральных веществ проявляется в изменении их сорбционной способности. Принято различать физическую адсорбцию, вызванную силами притяжения, и хемосорбцию. Изменение физической сорбции, прямо связанной с изменением свободной поверхности измельчаемого вещества, уже рассмотрено выше. Здесь следует рассмотреть хемосорбцию как процесс, развивающийся уже после акта измельчения и активации, понимая под этим сорбцию ионов или адсорбцию с диссоциацией сорбата (или адсорбцию с обменом электроном).

Хемосорбция представляется как химическое взаимодействие сорбента и сорбата. Например, молекулы кислорода или окиси азота, сорбируясь на поверхности вещества, способны захватывать электроны. Водород или окись углерода, напротив, отдают электроны.

Переход электрона от сорбента к газу (или наоборот) происходит в силу сродства реагирующего газа и электрона, определяемого положением электронного обменного уровня, а также потенциалом Ферми. Здесь уместно напомнить об «эффекте туннелирования», суть которого сводится к тому, что в результате механохимической активации вещества переход электрона совершается без преодоления энергетического барьера, а это существенно облегчает взаимодействие веществ.

В результате становится возможной ситуация, когда даже инертный газ реагирует с активированным сорбентом и при десорбции выделяется в новом виде. Так, например, становятся возможны процессы, когда кварц, активированный тонким измельчением, способен адсорбировать метанол, а десорбировать (при нагревании) водород.

Повышение каталитической активности

Повышение химической активности измельченных веществ проявляется также в повышении их каталитической активности, что объясняется, с одной стороны, увеличением площади свободной поверхности, а с другой – повышенной сорбционной способностью. В настоящее время принято считать, что диспергирование катализаторов способствует повышению их активности.

Возможность протекания реакций диспропорционирования на поверхности активированных минералов

Диспропорционирование – своеобразный тип химических реакций, в которых одновременно протекает восстановление-окисление одного из элементов.

Например, газообразная окись углерода способна взаимодействовать с твердым углеродом, образуя газообразную двуокись углерода. В данной реакции углерод и восстанавливается, и окисляется одновременно.

Исследование реакций диспропорционирования в тонкодисперсной минеральной среде представляет огромный интерес в связи с проблемой нефтеобразования. А окончательные выводы и технологические рекомендации, без преувеличения, могут стать революционными в планетарном масштабе. Как минимум станут окончательно известны механизмы образования нефти на Земле, а следовательно, будет ясно, где она может залежать.

Опытами последних лет установлено, что механоактивация природных минералов (кварц, гематит, магнезит, флогопит, бентонит) способна существенно изменить ход взаимодействия с ними метана – появляются новые углеводороды, типичные представители нефти.

Особенно ярко этот процесс проходит при совместном измельчении-активации «кварц – торф» и «кварц – бурый уголь», что позволяет говорить о реакциях диспропорционирования при взаимодействии органических веществ с минеральными, активированными измельчением.

Если учесть, что в процессе естественных эрозионных и тектонических процессов в земной коре происходит активация огромнейших количеств природных минералов, становится объясним механизм образования тяжелых углеводородов при их взаимодействии с органическими отложениями. А раз так, то проблемы поиска и прогнозирования запасов нефти становится возможным решать совершенно по-новому. Уже сейчас все большее подтверждение находит гипотеза, что залежи нефти должны находиться в районе шельфа древних морей и океанов, так как именно на шельфе возможно измельчение и накопление огромных массивов активированных природных минералов, способных инициировать реакции диспропорционирования с метаном, образующимся в результате разложения органических веществ и поступающим из магматических слоев Земли.

Возможность коренного изменения характера последующих химических реакций

Очень интересный эффект последствия, выражающийся в коренном изменении характера последующих реакций, установлен относительно минералов, активированных в процессе измельчения.

Так, например, пирит, измельченный в ступке без доступа кислорода (в спирте), при последующем нагревании на воздухе образует окислы железа и выделяет сернистый газ. В то время как тот же самый пирит, измельченный на воздухе в мельнице-активаторе, окисляется при последующем нагревании на воздухе с образованием сульфатов железа.

Каолинит, активированный сухим измельчением в мельнице-активаторе, при нагревании образует муллит, но измельченный в воде теряет эту способность.

8.4.3 Причинно-следственные связи изменения физико-химических свойств активированных минералов

Приведенный обзор изменений свойств и состава веществ показывает многообразие физико-химических процессов, протекающих под влиянием механических сил (например, при измельчении) или имеющих место в тонкодисперсной минеральной среде. Некоторые из рассмотренных выше явлений были открыты и исследованы сравнительно недавно. Они способны существенно изменить традиционные подходы к оценке физико-химических процессов общей химической технологии, строительного материаловедения, геологии и т. д.

Явления, обусловленные активацией минералов при измельчении, явно недооценены современной наукой, и даже сейчас еще не принимаются во внимание – главным образом потому, что еще не сложились четкие представления о формах аккумуляции энергии в измельченном веществе и «прочности консервации» избыточной энергии в тонкодисперсных минеральных системах.

Учитывая отсутствие доступной в популяризаторском плане информации об активации минеральных веществ посредством измельчения, уместно еще раз акцентировать внимание на ключевых положениях механоактивации.

Как уже было сказано выше, изменение запаса потенциальной энергии измельченного вещества, его активация, выражается двумя слагаемыми: первое представляет изменение поверхностной энергии, второе – изменение внутренней энергии. Активация веществ посредством измельчения протекает последовательно, ступенями. Причем переходы от одной ступени к другой обусловлены сложными причинно-следственными связями. В достаточно упрощенном виде последовательные ступени активации можно представить схемой, в которой следствие первопричины, в свою очередь, становится причиной очередного следствия (см. *таблицу 8.4.3-1*).

Представив активацию при измельчении в виде такой многоступенчатой лестницы, можно в первом приближении оценить значение тех или иных форм аккумуляции энергии в измельченном минеральном веществе и дать относительную количественную оценку времени хранения «законсервированной» энергии.

Если активация вещества выражена в формировании зон остаточного напряжения, предшествующих разрушению, то аккумулированная энергия сохраняется сравнительно недолго и только в условиях невысоких температур. Повышение температуры более чем на 100 °С резко увеличивает скорость релаксации остаточных напряжений и сокращает время существования зон остаточного напряжения.

Причина	Следствие
Механические воздействия на твердые упругие хрупкие вещества при ударе, трении и периодических нагрузках, не превышающих, однако, предела прочности	Формирование зон остаточных напряжений, аккумулирующих энергию в виде «нарушений в строении, подобного нарушениям, вызываемым тепловыми колебаниями»
Разрядка энергии зон остаточных напряжений	Образование новой поверхности, сопровождающееся: а) излучением энергии в виде звуковых, световых и электромагнитных волн; б) аккумуляцией энергии в поверхностном слое.
Одновременно: 1. Увеличение свободной поверхности и аккумуляция энергии в поверхностном слое и в зонах остаточного напряжения. 2. Разрядка энергии зон остаточных напряжений и поверхностной энергии.	Возможные механохимические превращения на физико-химическом уровне еще непосредственно на стадии измельчения: а) переход в новую модификацию; б) аморфизация; в) гидратация/дегидратация; г) синтез, диссоциация; д) разложение и деструкция; ж) твердофазные реакции; з) ионное замещение; е) структурные изменения кристаллической решетки.
Изменение физического состояния и химических свойств веществ в результате измельчения	Возможные механохимические превращения на физико-химическом уровне уже после измельчения (эффекты последствия): а) изменение теплоты смачивания; б) изменение растворимости; в) изменение сорбционных характеристик; г) изменение энтальпии веществ после активации изменение энергетического потенциала; облегчения реакций дегидроксилирования; изменение кинетического фактора химических реакций, их направленности и энергетического барьера; ускорение окислительно-восстановительных реакций; изменение сорбционной и каталитической способности; каталитическое воздействие на реакции диспропорционирования

Таблица 8.4.3-1

Такие остаточные напряжения способны проявиться под воздействием внешних факторов, и тогда разрушение идет по местам концентрации этих напряжений. Так капля воды рвет стекло по следу алмаза. Можно предполагать, что аналогичные процессы прослеживаются и при соприкосновении активированных измельчением кристаллических веществ с водой. Например, при «встрече» кристаллов активированного кварца (кварцевый песок) или кристаллов активированных алюмосиликатов (цемент) с водой в ходе приготовления бетонов.

Если активация вещества обусловлена тонким измельчением и связана главным образом с увеличением поверхностной энергии, то ни длительная выдержка, ни нагревание (разумеется, до температур, не превышающих точки плавления, спекания или фазового перехода) не снимут активности измельченного материала. Но она проявится в процессах, идущих с сокращением свободной поверхности и стяжением вещества, таких как образование кристаллов радиально-лучистого строения – конкреций, оолитов. (Типичный минерал, кристаллы которого имеют оолитовую структуру, – карбонаты кальция: мел, известняк.)

Влияние поверхностной энергии может быть измерено непосредственно и инструментально, например, с помощью дериватографа (прибор, позволяющий определить соотношение свободной и связанной влаги в минеральных веществах). Так, у веществ одного и того же химического состава, но разной кристаллической организации (мел, мрамор и др.), прослеживаются четкие различия температуры начала диссоциации.

Если активация измельчением привела к образованию аморфного вещества, то аккумулированная при этом энергия будет сохраняться до тех пор, пока физико-химические условия не станут благоприятными для образования кристаллической фазы. К примеру, если кварц измельчен до дисперсности $100 \text{ м}^2/\text{г}$ и при этом полностью превращен в аморфный кремнезем, то его потенциальная энергия увеличена на следующую величину: поверхностная энергия ($18,6 \text{ кал/г}$) + энергия аморфизации (25 кал/г) = $43,6 \text{ кал/г}$.

Именно такая энергия выделится при последующей кристаллизации аморфного вещества в кристаллическое и «поможет» более бурному и полному протеканию этого процесса. (Для наглядности, такого количества энергии достаточно, чтобы нагреть данное вещество до температуры $250\text{--}300^\circ\text{C}$!)

Если при механическом воздействии имел место переход вещества в новую кристаллическую модификацию, например, киноварь \rightarrow метациннабарит, то аккумулированная при этом энергия, равная разности теплоты образования (в данном случае – $0,62 \text{ Ккал}$) этих сульфидов ртути, сохранится как угодно долго, но выделится скачком при нагревании до точки обратного перехода в исходную кристаллическую форму.

Аналогичные процессы скачкообразного выделения энергии возможны и при переходе одного кристаллогидрата в другой, например при растворении в воде.

Не только соединения ртути имеют несколько кристаллических модификаций (полиморфов). Этим свойством обладают сера, углерод, олово и железо. Лед имеет целых 7 кристаллических модификаций. Кварц существует еще в двух своих кристаллических модификациях (тридимит и кристобалит). Карбонат кальция также встречается в природе в нескольких кристаллических модификациях (кальцит и аргонит).

Если учесть еще и кристаллогидраты различных соединений, то активация многих химических добавок, применяемых в технологии бетонов, позволит по-новому взглянуть на их эффективность. И в первую очередь благодаря эффекту высвобождения энергии, накопленной в ходе механоактивации, при полиморфных превращениях этих соединений в составе бетонов и растворов.

Имеются уже достаточно достоверные сведения, что некоторые химические модификаторы, применяемые в строительстве, именно факту своей предварительной механоактивации обязаны столь прекрасному (сильно отличающемуся от аналогичных, конкурирующих составов) эффекту.

Если в процессе измельчения произошла деструкция минерального вещества на простые окислы (SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO), то выделение энергии произойдет лишь при образовании новых соединений, например, шпинелей $\text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3 = \text{MgAl}_2\text{O}_4$.

8.4.4 Особенности практической реализации механоактивации с учетом накопленного опыта и ошибок

Химические реакции, протекающие во время измельчения, а также повышение химической активности тонкодисперсных веществ есть объект исследования механохимии – раздела химии твердого тела. Успехи механохимии становятся достоянием практической химической технологии. Активация минеральных веществ посредством тонкого измельчения уже давно вышла из рамок лабораторных исследований и уверенно занимает свое место в цепи производственных операций, а то и становится основой нового производства.

В качестве примера можно назвать использование активированного кварца, которое привело к созданию нового строительного материала – силикальцита.

Применение механической активации в планетарных мельницах в производстве технической пятиокиси ванадия обеспечило более полное его извлечение в одной стадии выщелачивания, что позволило сократить цикл переработки с 30 до 1 часа и значительно улучшить санитарно-гигиенические условия труда.

Всемирно известные работы Фишера, показавшие высокую активность «микронного угля», и основанное на его гидрировании производство синтетического жидкого топлива по Фишеру – Тропшу – к этому способу стали очень внимательно присматриваться в последнее время в связи с возрастающим дефицитом нефти. Механокрекинг каменного угля при его измельчении и насыщении свободных связей водородом, образующимся в результате механохимической реакции воды с восстановителем, открывает широкую перспективу совершенствования технологии твердого топлива.

Интенсификация вскрытия упорных концентратов цветных и редких металлов посредством механохимической активации – чрезвычайно перспектив-

ное направление совершенствования технологии полезных ископаемых, уже перешла из стадии лабораторных опытов в фазу промышленного освоения.

При всех успехах механохимии как науки, доказавшей свою состоятельность и перспективность, множество исследователей, тем не менее, упускают очень важные положения, без которых результативность и эффект любого эксперимента в этой области может оказаться нулевым а то и вовсе отрицательным.

Первое, что следует **ОБЯЗАТЕЛЬНО** учитывать – продолжительность хранения вещества в активированном состоянии. Из опыта работы с минеральным веществом, активированным измельчением, следует, что энергия, аккумулированная в поверхностном слое или в аморфизованном веществе, или в дефектах кристаллического строения активированного вещества, сохраняется сколь угодно долго, пока условия не изменятся и не станут благоприятными для укрупнения частиц, их агломерации или кристаллизации. Очень часто такие условия формируются самопроизвольно, в ходе хранения активированного вещества, а энергия, аккумулированная в зоне остаточных напряжений, диссипирует со временем вследствие протекания в материале ряда вторичных релаксационных процессов. При этом напряжения в материале релаксируют, свободные радикалы и ионизированные частицы рекомбинируют, дислокации аннигилируют или выходят на поверхность. Процесс диссипации энергии начинается сразу в момент активации, продолжая протекать в материале и после прекращения механической обработки материала, то есть после выхода полученного порошка из рабочей камеры измельчителя-активатора. Причем скорость релаксационных процессов зависит не только от свойств материала, но и от условий хранения (температура, влажность, давление, химический состав среды хранения и т. п.). С течением времени энергия, накопленная в материале за счет механической активации, диссипирует, и рано или поздно, но материал возвращается к своему первоначальному состоянию. Весь вопрос только в том, как скоро это произойдет.

Диссипация энергии у физических систем – это переход части энергии упорядоченного процесса (например электрического тока) в энергию неупорядоченного процесса, и в конечном счете в тепловую (например в джоулево тепло). У механических систем переход части ее механической энергии в другие формы (например в теплоту) происходит за счет наличия сил сопротивления.

Активированный кварц проявляет необычные свойства достаточно долго: повышенную растворимость – в течение года, а повышенную спекаемость с кальцитом – 6 месяцев. В то же время цемент марки М-400, активированный в дисмембраторе (при скорости движения рабочих органов 50 м/с), за 1 час хранения теряет 4–5% прочности по сравнению с аналогичным, употребленным в дело сразу после активации. Через 2 часа потери составляют уже 11–15%. И всего через сутки прочность активированного цемента равна прочности неактивированного.

Ускорить релаксацию и тем самым снять активацию минерала можно посредством нагревания до 90–100 °С и постепенным охлаждением. Поэтому в аппаратах, предназначенных для активации минеральных веществ, необходимо избегать нагревания измельчаемого материала, ибо нагревание снимает активацию. В лабораторных опытах при сухом измельчении минеральных веществ в планетарных мельницах обычно практикуют длительную активацию только как сумму кратковременных включений мельницы с последующим охлаждением рабочих барабанов. Несоблюдение этих условий приводит к получению несопоставимых результатов.

Кстати, именно из-за невозможности организовать достаточный теплоотвод от мелющего тела в планетарной мельнице основана практическая невозможность сколь-нибудь значимого применения этих агрегатов в производстве высокоактивных механоактивированных вяжущих.

8.5 Механохимия в строительной индустрии – изобретение, опередившее время

Жизнь не стоит на месте. Закончили обучение и пришли на производство совершенно новые люди - новое поколение. Они молоды, полны сил, энергии и здоровых амбиций. Они не знают уже, что такое партия и комсомол. Слушают рассказы старших о былых трудовых победах, и прячут саркастическую усмешку за стаканом кока-колы. Они уже сделали свой выбор? Не уверен. Они его еще ищут.

Так случилось, что наше общество умышленно (или это происходит само собой, не знаю) отсекается от своих корней. Как культурных, так и научных. Яркий тому пример – строительная индустрия и производство стройматериалов. Как новейшие достижения западной научной мысли нам преподносятся наши же исследования полувековой давности. И вот очередной «менеджер дивизиона продаж» объясняет мне, почему добавки именно той фирмы, в которой он сейчас работает, самые лучшие в мире, а все наше – извращенные научные потуги агонизирующего социализма. Кому верить? Кто прав?

Права ИСТИНА. Но чтобы разобраться, что есть истина, а что – ловкая рекламная кампания, необходимы знания. Где их взять страждущему? Техническая литература не переиздается, а новое, что появляется, выходит мизерными тиражами. Сложился целый пласт научных исследований, которые вроде бы и не являются никакими секретами, но ознакомиться с ними практически невозможно. Они не исчезли, они есть, их бережно сохранили в крупных научных библиотеках. Но такие библиотеки можно пересчитать по пальцам одной руки. Где взять эту литературу в заштатном Урюпинске? Каждый раз в Москву не наездишься умных книжек почитать. Такую литературу я называю «условно закрытой».

А книжки действительно умные. Настолько умные, что грамотное использование даже ничтожных крох знаний, заложенных в них, позволит кардинально модернизировать, а то и попросту изменить многие строительные технологии.

8.5.1 Внедрить нельзя забыть – куда поставить запятую?

В послевоенные годы был в Прибалтике небольшой заводик силикатного кирпича. И был на этом заводе инженер, которого звали Йоханес Александрович Хинт. Занимался он модернизацией производства. Экспериментировал – нужно было извести измельчать, делать кирпичи, отстраивать страну. В своих экспериментах, проводимых сначала методом «научного тыка», Хинт перепробовал разные измельчители. Дошла очередь и до дезинтеграторов.

Представьте себе беличье колесо: два кольца, соединенные перекаладинами. Если такое колесо вращать от внешнего источника, а внутрь подавать продукт, подлежащий измельчению, то пока он высыплется наружу, получит несколько ударов от перекаладин, соединяющих кольца. Если таких беличьих колес на одной оси несколько, как бы вложенных одно в одно, то эффективность помола значительно увеличивается – материал теперь получает удары от нескольких рядов перекаладин. Часть энергии удара расходуется не на измельчение, а на бесполезное закручивание материала по направлению вращения колес. Чтобы этого не происходило, между колесами ставят некую неподвижную преграду. Получившееся устройство называется десмбератором. Именно с него и начал свои эксперименты Хинт. И сразу убедился – не подходит. Если вращающиеся била самоочищаются под действием центробежных сил, то на неподвижных налипает известково-песчаная смесь, сырье для кирпичей, и через пару минут забивает их напрочь.

Если неподвижные преграды оформить в форме беличьего колеса да придать им вращение в противоположную сторону, то под действием центробежных сил они также станут самоочищаться, и проблема будет устранена. Получится устройство, называемое дезинтегратором, – с ним-то и продолжил экспериментировать инженер.

Десмбератор и дезинтегратор – устройства давно известные. Их широко применяют для смешения и гомогенизации сырьевых смесей: при производстве стекла (смешение шихты), в металлургии (для подготовки формовочной земли), в кулинарии (для приготовления различных соусов) и т.д. И ничего нового Хинт не изобрел. Его заслуга в ином – он предложил при помощи дезинтегратора не смешивать, а измельчать!

Экспериментируя с измельчением сырья для кирпичей в дезинтеграторе, Хинт столкнулся с необъяснимым эффектом – кирпичи получаются немного прочнее. А если еще больше увеличить обороты? И вот здесь главное

открытие исследователя – он первый догадался увеличить скорость вращения корзин дезинтегратора. Изначально их окружная скорость не превышала 10–15 м/с. Этого было вполне достаточно для смешивания. Увеличение же окружной скорости ведет к активному износу бил. Особенно если это высокоабразивные материалы.

Тем не менее исследователь, в ущерб надежности и долговечности конструкции, стал продолжать эксперименты в этом направлении. Результаты получились феноменальные. Сырье, прошедшее помол в модифицированном высокоскоростном дезинтеграторе, приобретало новые, на тот момент наукой не объяснимые свойства. Конечная прочность приготовленных из него изделий увеличивалась многократно. И это никак нельзя было объяснить тривиальным дополнительным измельчением компонентов. Здесь роль свою сыграли некие новые явления, которые впоследствии наука назвала механохимическими превращениями. (В западной классификации данный раздел физики твердого тела получил название «трибохимия».)

В итоге из простой извести и простого же песка этот заводик начал выпускать изделия марочностью М3000 в серийном производстве и до М5000 в опытно-промышленном. (И это полвека назад! Кто не знает, в наши дни бетон марочностью М600 считается чуть ли не вершиной прикладного бетоноведения.)

Материал, полученный на основе извести и песка, прошедших механохимическую активацию, Хинт назвал силикальцитом. Под это дело ему дали научно-исследовательский институт – он так и назывался: НИИ Силикальцита. Из этого нового материала в 60-х годах были построены целые города! По Волге плавали специальные корабли-заводы – приплыл, наделал силикальцитных элементов для домов, и пока их монтируют, он уже в другое место отправился.

И где он сейчас этот силикальцит, спросите вы? Почему о Хинте и его механоактивации ничего не слышно?

Доктора наук, лауреата Ленинской премии, кавалера ордена Трудового Красного Знамени, заслуженного изобретателя и рационализатора СССР, директора НИИ Силикальцита Йоханеса Александровича Хинта в начале 80-х, лишив всех наград, научных званий и должностей, осудили по сфабрикованному обвинению. В возрасте 75 лет он умер в тюрьме. А руководимый им НИИИ Силикальцита вскоре разогнали.

Построенные ранее силикальцитные заводы выработали свой ресурс и были демонтированы. Новых вместо них не построили.

Вот что бывает с теми, кто замахивается на устои традиционной науки.

А что стряслось с механоактивацией? Да ничего, здравствует и процветает. В Новосибирске существует целый академический институт, исследующий механохимические эффекты и их использование в народном хозяйстве. При разработке межконтинентальной стратегической ракеты SS-18 «Сатана» («Ужас

Америки») было впервые опробовано механохимически обработанное ракетное топливо на установках, аналогичных высокоскоростным дезинтеграторам Хинта. С тех пор этот метод – неизменный спутник космических технологий.

Применяется ли сейчас механохимия в строительной индустрии? Еще как! В каждом мешке с импортной сухой смесью для строителей присутствует частичка души Йоханеса Хинта.

8.5.2 Что читать по теме механохимии и механоактивации в строительной индустрии

Тема механохимии и механоактивации достаточно широко рассматривается в исследованиях как отечественных, так и зарубежных авторов. В наиболее обобщающих трудах вопрос освещается в традиционном стиле, характерном для литературы академической направленности. Исследователи не ставят перед собой задачи практического воплощения полученных знаний, для них это вторично. Это и понятно – дело физиков описать суть явлений, а претворять их в жизнь должны другие. (Кто бы мог подумать, например, что ряды Фурье – абсолютнейшая математическая абстракция в глазах простого обывателя, помогает ему слушать радиоприемник?)

Из подобной «академической» литературы следует обратить внимание на следующие труды:

1. Авакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов. Новосибирск. 1980 г., 297 стр.
2. Ходаков Г.С. Физика измельчения 1985 г., 307 стр.
3. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика. 1958 г., 75 стр.
4. Ребиндер П.А. Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. 1979 г., 382 стр.
5. Ребиндер П.А. Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах. Коллоидная химия. 1978 г., 366 стр.

Более приближены к практическому воплощению исследования, направленные уже на конкретную сферу промышленного производства. Рассмотрению возможных перспектив механохимических и электрофизических эффектов в области строительного материаловедения посвящены следующие труды:

1. Ходаков Г.С. Тонкое измельчение строительных материалов. 1972 г., 239 стр.
2. Тонкое измельчение материалов. Сборник трудов Всесоюзного научно-исследовательского института новых строительных материалов (ВНИИИСМ), 1959 г., 182 стр.
3. Файнер М.Ш. Теоретические и экспериментальные основы разрядно-импульсной технологии бетона. 1993 г., 82 стр.
4. Файнер М.Ш. Новые закономерности в бетоне и их практическое приложение. 2001 г., 448 стр.

А еще более углубляются в производственную сферу, в частности, поднимают тему воздействия механохимических превращений на главный строительный материал – цемент, другие исследователи. В частности:

1. Урьев Н. Б., Дубинин И. С. Коллоидные цементные растворы. 1980 г., 193 стр.
2. Шишкина А. А., Астахова Н. В. Активированные вяжущие вещества и бетоны на их основе. 2001 г., 103 стр.
3. Волженский А. В., Попов Л. Н. Смешанные портландцементы повторного помола и бетоны на их основе. 1961 г., 108 стр.
4. Попов Л. Н., Орендлихер Л. П., Дерюгин В. М. Быстротвердеющие легкие бетоны на цементе мокрого домолла. 1963 г., 149 стр.

Механохимические превращения возможны только в высоконагруженных мельницах-активаторах: вибромельницах, струйных мельницах, дезинтеграторах и планетарно-шаровых мельницах. Наиболее просты, технологичны и дешевы вибромельницы. Именно им и посвящено большинство публикаций на данную тему:

1. Лесин А. Д. Вибрационные машины в химической технологии. 1968 г., 83 стр.
2. Симонян С. Г. Вибромельницы и опыт их применения в промышленности. 1956 г., 49 стр.
3. Вибрационное измельчение материалов. Научное сообщение ВНИИИСМ № 17. Вибропомол – наиболее эффективный современный метод измельчения. 1956 г., 11 стр.
4. Вибрационное измельчение материалов. Научное сообщение ВНИИИСМ № 20. Вибропомольные установки. Устройство, назначение, выбор. 1956 г., 67 стр.
5. Швейде Т. А. Испытание вибромельницы местного изготовления и применение вибропомолла в условиях Дальстроя. Труды Всесоюзного научно-исследовательского института золота и редких металлов. 1957 г., 19 стр.
6. Эффективность повторного помола портландцементов с добавками. Материалы 2-й сессии общего собрания членов Академии строительства и архитектуры СССР, 1957 г., 7 стр.
7. Вибрационные смесители для приготовления бетонных и растворных смесей. Обзор. 1961 г., 55 стр.
8. Ершов Л. Д., Кашперовская О. П. Вяжущие материалы и изделия на основе вибропомолла. 1957 г., 82 стр.
9. Захаров Л. А. Вибропомол и вибропомольные известково-пуццолановые вяжущие. 1956 г., 87 стр.
10. Маргулис М. А. Вибрационное измельчение материалов. 1957 г., 156 стр.

Второе направление, нашедшее широкое освещение в научной литературе и воплощенное в массовом производстве строительных материалов и изделий, акцентировано на использование дезинтеграторов как механоактиваторов. Родоначальником этого направления является эстонский исследователь Йоханес Хинт. Ему же, а также его соратникам и последователям, и принадлежит большинство публикаций по данной теме:

1. Хинт Й. А., Кузьминов В. А. Производство силикальцита и его применение в жилищном строительстве. 1958 г., 215 стр.
2. Хинт Й. А. Технология пеносиликальцита. Бюллетень Опытного завода НПСМ Эстонской ССР. 1958 г., № 376
3. Хинт Й. А. Мысли о силикальците 1963 г., 29 стр.
4. Силикальцит. Бюллетень научно-технической информации. № 1–8 за 1960 г., № 1–8 за 1961 г.
5. Цемахович Б. В. Производство силикальцита. 1959 г., 154 стр.
6. Научно-информационный сборник СКТБ «Дезинтегратор» 1979 г., 138 стр.
7. Красунский Е. С. Силикальцит – местный строительный материал. 1959 г., 63 стр.

Для наиболее полного знакомства с сутью проблемы и практическому приложению научных исследований в производство весьма желательно ознакомиться с первоисточниками – диссертационными работами:

1. Хинт Й. А. Дезинтеграторный способ изготовления силикатных и силикальцитных изделий. 1952 г. Диссертация.
2. Оrentлихер Л. П. Быстротвердеющие легкие бетоны на домолотых цементах. Диссертация. 1961 г.
3. Солдатенко С. Е. Механохимическая активация малоконцентрированных цементно-водных суспензий для интенсификации твердения бетона. Диссертация. Харьков. 1990 г.
4. Березовский Б. А. Теоретические и экспериментальные исследования новой центробежно-вихревой мельницы. Диссертация. Харьков. 1975 г.

ЧАСТЬ II

**А. ПОРТИК
А. САВИНЫХ**

**ПРОИЗВОДСТВО
ПЕНОБЕТОНА
И СТРОИТЕЛЬСТВО
ИЗ НЕГО**

9.1 Введение

Вторая часть этой книги призвана показать способы применения и производства пенобетона в практической плоскости. В ней рассматриваются вопросы построения производств пенобетона, выбора технологии производства, особенности строительства из пенобетона.

Информация в данной части является базовой и может помочь при открытии производств, их модернизации или лицензировании.

9.2 Описание пенобетона

9.2.1 История развития пенобетона

История ячеистых бетонов началась в начале XX века с изобретения шведским архитектором А. Эриксоном технологии получения искусственного камня, с близкими к дереву характеристиками. В 1924 году этот материал был защищен международным патентом. К 70-м годам пенобетон уже широко использовался в сорока странах по всему миру.

Наша страна также имеет опыт применения пенобетона в строительстве. В 30-е годы он уже использовался для монолитной теплоизоляции кровель промышленных зданий. В 1953 году в Березниках были построены первые цельно-пенобетонные жилые дома. Но поскольку при автоклавной обработке пенобетон показал недостаточную трещиностойкость, в дальнейшем преимущество было отдано газобетонам, особенно после приобретения в конце 50-х годов в Польше десяти заводов автоклавного газобетона мощностью по 174 тысячи кубометров в год.

Заводы пенобетона постепенно закрывались. В Ленинграде остался один пенобетонный завод (изоляционно-сварочный), пущенный в 1958 году для производства монолитной теплоизоляции труб без канальной прокладки. Эта теплоизоляция прошла успешные эксплуатационные испытания в течение сорока лет работы в сложных грунтовых условиях города и служит до сих пор.

В конце 50-х – начале 60-х годов началось преимущественное производство автоклавного газобетона, из которого построено много жилых, общественных, промышленных и сельскохозяйственных зданий. Строились десятки заводов по производству изделий и конструкций из автоклавного газобетона уже по усовершенствованным отечественным технологиям. Что же касается заводов пенобетона, то в строй вошел лишь Салаватский КПД, построенный по проекту ЛенЗНИИЭПа, который разработал для этого и типовую серию пенобетонных домов (108 серия), сформировавшую новый город.

Несмотря на доминирование газобетона, научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по пенобетону продолжались и намного опередили работы западных ученых.

В ЛенЗНИИЭПе (Ленинградском филиале Академии строительства и архитектуры СССР) в эти годы по инициативе его создателя, проф. П. И. Боженова, было разработано, испытано и нормировано много конструкций из пенобетонных (как ускоренного, так и естественного твердения), в том числе стеновые блоки и панели, элементы каркаса (колонны, ригели, рамы подвала), многопустотные преднапряженные панели перекрытий, фундаментные подушки, теплоизоляция подземных трубопроводов, сваи.

В постперестроечный период, в связи с резким ростом цен на энергоносители, когда автоклавная обработка стала экономически невыгодной, а требования к теплозащите зданий возросли более чем в 3 раза, вновь возродился интерес к неавтоклавному пенобетону. У него более высокая морозостойкость и долговечность, чем у других теплоизоляционных материалов, он экологически чист, паропроницаем («дышит»), но воздухонепроницаем (не продувается); обладает хорошей адгезией к конструктивным слоям, арматуре, отделочным материалам, огнестоек, биостоек, прост в изготовлении, дешев.

СПбЗНИиПИ, по приказу Госстроя России, назначен головным институтом по применению ячеистых бетонов в жилищно-гражданском строительстве и технологии их производства, а также базовой организацией по их стандартизации. Институт принимал участие в разработке всех нормативных документов по ячеистым бетонам. Все нормативные документы по изготовлению и применению тяжелых пенобетонных марок Д1000-Д1800, включая расчет несущих конструкций, разработаны ЛенЗНИИЭПом и имеют согласования Госстроя.

9.2.2 Ячеистые бетоны, классификация

Введение в ячеистые бетоны

Ячеистый бетон – искусственный каменный материал на основе минерального вяжущего вещества и кремнеземистого компонента с равномерно распределенными по объему порами.

В зависимости от требований к изделиям и технологии производства в качестве вяжущего наполнителя могут использоваться цемент, известь, гипс или их композиции, а в качестве дисперсного – песок (молотый или немолотый) или зола ТЭЦ.

Пенобетон и газобетон различаются технологией изготовления. В пенобетоне поризация производится за счет введения пенообразователей, а в газобетоне – за счет веществ, выделяющих газ при химических реакциях (обычно это порошкообразный алюминий). Во время реакции между металлическим алюминием и щелочью выделяется водород, который и поризует смесь.

Пористость ячеистого бетона сравнительно легко регулировать в процессе изготовления, в результате получают бетоны разной плотности и назначения. Ячеистые бетоны делятся на три группы:

1. теплоизоляционные, плотностью в высушенном состоянии не более 500 кг/м^3 ;
2. конструктивно-теплоизоляционные (для ограждающих конструкций), плотностью $500\text{--}900 \text{ кг/м}^3$;
3. конструкционные (для железобетона), плотностью $900\text{--}1200 \text{ кг/м}^3$.

Материалы для ячеистого бетона

Вязущим для цементных ячеистых бетонов обычно служит портландцемент. Бесцементные ячеистые бетоны (газо- и пеносиликат) автоклавного твердения изготавливают, применяя молотую негашеную известь. Вяжущее используют совместно с кремнеземистым компонентом, содержащим двуоксид кремния.

Кремнеземистый компонент (молотый кварцевый песок, речной песок, зола-унос ТЭС и молотый гранулированный доменный шлак) уменьшают расход вяжущего, усадку бетона и повышают качество ячеистого бетона. Кварцевый песок обычно размалывают мокрым способом и применяют в виде песчаного шлама. Измельчение увеличивает удельную поверхность кремнеземистого компонента и повышает его химическую активность.

Для изготовления ячеистого бетона экономически очень выгодно применение побочных продуктов промышленности – золы-уноса, доменных шлаков, нефелинового шлама.

Образование пор в растворе может осуществляться двумя способами: химическим, когда в тесто вяжущего вводят газообразующую добавку и в смеси происходят химические реакции, сопровождающиеся выделением газа; и механическим, когда тесто вяжущего смешивают с отдельно приготовленной устойчивой пеной.

Ячеистые бетоны, в зависимости от способа изготовления, делятся на газобетон и пенобетон.

Газобетон и автоклавный метод

Газобетон приготавливают из смеси портландцемента (часто с добавкой воздушной извести или едкого натра), кремнеземистого компонента и газообразователя.

По типу химических реакций газообразователи подразделяются на следующие виды: вступающие в химическое взаимодействие с вяжущим или продуктами его гидратации (алюминиевая пудра); разлагающиеся с выделением газа (пергидроль); взаимодействующие между собой и выделяющие газ в результате обменных реакций (например, молотый известняк и соляная кислота).

Чаще всего газообразователем служит алюминиевая пудра, которая, реагируя с гидратом окиси кальция, выделяет водород.

Литьевая технология предусматривает отливку изделий, как правило, в отдельных формах из текучих смесей, содержащих до 50–60% воды от массы сухих компонентов (водотвердое отношение В/Т=0,5–0,6). При изготовлении газобетона применяемые материалы – вяжущее, песчаный шлам и воду, дозируют и подают в самоходный газобетоносмеситель, в котором их перемешивают 4–5 мин; затем в приготовленную смесь вливают водную суспензию алюминиевой пудры, и после последующего перемешивания теста с алюминиевой пудрой газобетонную смесь заливают в металлические формы на определенную высоту – с таким расчетом, чтобы после вспучивания формы были заполнены доверху.

Избыток смеси («горбушку») после схватывания срезают проволочными струнами. Для ускорения газообразования, а также процессов схватывания и твердения, применяют горячие смеси на подогретой воде, с температурой в момент заливки в формы около 40°С.

Тепловую обработку бетона производят преимущественно в автоклавах в среде насыщенного водяного пара при температуре 175–200°С и давлении 0,8–1,3 МПа.

Итак, для получения газобетона нужно провести следующие операции:

1. замешать раствор со всеми компонентами;
2. вылить в форму, где он вспучивается под действием химической реакции;
3. удалить излишки смеси («шапку»);
4. провести автоклавную обработку.

Пенобетон и неавтоклавный метод

Существует несколько технологий производства пенобетона. Подробное описание технологий и их сравнение будет приведено далее. Технология приготовления пенобетона достаточно проста. В цементно-песчаную смесь добавляется пенообразователь или готовая пена. После перемешивания компонентов получается бетон, насыщенный пузырьками воздуха плотностью от 250 до 1400 кг/м³. Получаемая смесь сразу готова для формирования из нее различных строительных изделий: стеновых блоков, перегородок, перемычек, плит перекрытия и т.д. Такой пенобетон с успехом можно использовать для заливки в формы, для пола, кровли, а также для монолитного строительства.

В отличие от ячеистого газобетона в производстве пенобетона используется менее энергоемкая безавтоклавная технология. Кроме простоты производства, пенобетон обладает и множеством других положительных качеств. Например, в процессе его приготовления легко удастся придать материалу требуемую плотность путем изменения подачи количества пенообразователя. В результате возможно получение изделий плотностью от 250 кг/м^3 до самых предельных значений легкого бетона – 1400 кг/м^3 .

Сравнение пенобетона и газобетона

Газобетон имеет одно преимущество – при одинаковой плотности он прочнее. По всем остальным параметрам он уступает пенобетону. Надо также учесть, что стоимость оборудования для производства автоклавного газобетона исчисляется миллионами долларов, а для производства пенобетона оно стоит от 100 000 рублей.

Пенобетону (в отличие от газобетона) присуща закрытая структура пористости, то есть пузырьки внутри материала изолированы друг от друга. В итоге при одинаковой плотности пенобетон плавает на поверхности воды, а газобетон тонет. Таким образом, за счет низкого водопоглощения пенобетон обладает более высокими теплозащитными и морозостойкими характеристиками. Благодаря этим свойствам пенобетон может использоваться в местах повышенной влажности и на стыках «холод – тепло», то есть там, где применение газобетона недопустимо.

Пенобетон вообще не впитывает влагу, в отличие от газобетона, имеющего сквозные поры; структура пенобетона – это скрепленные между собой замкнутые пузырьки, отсюда и название – «пенобетон».

Пенобетон – экологически чистый материал, и в этом его еще одно, весьма весомое преимущество перед газобетоном.

Из-за перечисленного выше, большинство работ по утеплению кровли, трубопроводов, внешних стен, подвалов и фундаментов проводят с помощью пенобетона. Соответственно, и на перегородки большинство строителей предпочитают использовать пенобетонные блоки.

9.2.3 Характеристики пенобетона

См. таблицы 9.2.3-1 – 9.2.3-3.

9.2.4 Области применения пенобетона

Область применения пенобетона

- производство строительных блоков для классического строительства домов и перегородок;

Показатель	Ед. изм.	Кирпич строительный		Строительные блоки		Пенобетон
		глин.	силикат.	керамзит	газобетон	
Плотность	кг/м³	1550–1750	1700–1950	900–1200	300–1200	300–1200
Масса 1 м³ стены	кг	1200–1800	1450–2000	500–900	90–900	90–900
Теплопроводность	Вт/мК	0,6–0,95	0,85–1,15	0,75–0,95	0,07–0,38	0,07–0,38
Морозостойкость	цикл	25	25	25	35	35
Водопоглощение	% по массе	12	16	18	20	14
Предел прочности при сжатии	МПа	2,5–25	5–30	3,5–7,5	0,5–25,0	0,25–12,5

Таблица 9.2.3-1

Марка бетона по средней плотности в сухом состоянии	400	500	600	700	800	900	1000
Пределы отклонения средней плотности бетона в сухом состоянии, кг/м³	351–450	451–550	551–650	651–750	751–850	851–950	951–1050
Коэффициент теплопроводности бетона в сухом состоянии не более, Вт/(мК)	0,1	0,12	0,14	0,18	0,21	0,24	0,29
Класс бетона по прочности на сжатие	B0,5 B0,75	B0,75 B1 B1,5	B1 B1,5 B2	B1,5 B2 B2,5	B2 B2,5 B3,5 B5	B2,5 B3,5 B5 B7,5	B5 B7,5 B10
Средняя прочность на сжатие (при коэффициенте вариации $V_n = 7\%$) не менее, МПа	0,7 1,1	1,1 1,4 2,2	1,4 2,2 2,9	2,2 2,9 3,6	2,9 3,6 5,0 7,2	3,6 5,0 7,2 10,7	7,2 10,7 14,3

Таблица 9.2.3-2

№	Наименование	Материал		
		Керамический кирпич	Пенобетон	
1	Объемный вес, кг/м ³	1800	500	400
2	Размер, мм			
	высота	250	200	200
	длина	120	400	400
	ширина	65	600	600
3	Объем шт в м ³	0,00195	0,048	0,048
4	Коэффициент теплопроводности (сух) (L), Вт/м•°C	0,80	0,12	0,10
5	Количество, шт в 1м ³	513	21	21
6	Количество, шт в м ³ стены в 1 кирпич	33	13	13
7	Вес, шт/кг	3,51	24	19,2
8	Толщина стены, м для R=2.0	1,45 (с учетом р-ра)	0,24	0,20
9	Количество шт, для заданной R	744	5	4
10	Масса 1 м ³ стены, кг (при заданной толщине)	2610	120	80
11	Трудозатраты на 1 м ³ стены, чел/час	7,19	1,20	1,00

Таблица 9.2.3-3. Сравнительная таблица конструкций стен из пенобетона и керамического кирпича

- монолитное домостроение;
- тепло- и звукоизоляция стен, полов, плит, перекрытий;
- заполнение пустотных пространств – пенобетон очень текуч, и им можно заполнять любые пустоты, даже в самых труднодоступных местах, через небольшие отверстия (подоконники, трубы и т.п.);
- теплоизоляция крыш – пенобетон низкой плотности придает изоляции превосходные тепловые свойства;
- заполнение траншейных полостей – пенобетон не оседает, не требует виброуплотнения и имеет превосходные характеристики по распределению нагрузки, обеспечивая заполнение высокого качества;
- использование в туннелях – пенобетон используется для заполнения пустот, которые возникают при прокладке туннелей;
- теплоизоляция трубопроводов (как при производстве труб, так и непосредственно на объектах, в специальную опалубку).

Использование пенобетона для заливки полов и крыш

Одна из самых трудоемких операций в строительстве – создание выравнивающих цементно-песчаных стяжек. Из-за высокой средней плотности таких стяжек (около 2000 кг/м³) увеличиваются нагрузки на перекрытия, стены и фундаменты зданий. Из-за сравнительно высокого коэффициента теплопроводности

(0,6 Вт/(м²°С)) полы, которые впоследствии делаются на таком основании, получаются холодными. Значительно облегчает работу и улучшает характеристики теплопроводности и веса применение пенобетонных стяжек плотностью от 250 до 1000 кг/м³. В этом случае нагрузки уменьшаются на 60 %, повышается звукоизоляция за счет пористой структуры пенобетона, температура на поверхности основания повышается на 2–5 °С за счет уменьшения коэффициента теплопроводности в 2–2,5 раза, что значительно увеличивает комфортность пола.

Предварительно на полу должны быть сделаны лаги. Максимальный размер пространства без лагов, куда заливается пенобетон, – 2х2 метра. У пенобетона низкие показатели самовыравнивания и текучести, поэтому после заливки пола поверхность надо выравнивать планками по направляющим. Ухаживают за залитым пенобетонным полом или крышей, как и за обычным бетонным – поливают и не пересушивают.

Важно помнить, что заливаемую пенобетоном поверхность необходимо увлажнить для предотвращения усадки и появления трещин. Чтобы избежать появления трещин, используют также полипропиленовую фибру. Обычно ее добавляют от 0,5 до 1 кг на 1 куб.м. пенобетонной смеси

После вставания пенобетона можно наносить верхний армирующий слой. Это может быть половая плитка, самовыравнивающая смесь (вентонит, плитонит и т.п.) или, что предпочтительней, паркет, дерево, ламинат. Толщина слоя пенобетона для основания полов составляет 30–50 мм. Возможно нанесение слоя до 100 мм. Наименьшая толщина слоя пенобетона при укладке его по плитам перекрытия составляет 30 мм. Конструкция пола рассчитывается и проектируется для каждого конкретного объекта, в зависимости от его назначения.

Для устройства полов и потолков пенобетон должен отвечать требованиям ГОСТ 25485-89 «Бетон ячеистый», а качество поверхности полов соответствовать требованиям ГОСТ 13.015.0-83.

Использование пенобетона для теплоизоляции трубопроводов

Пенобетон на протяжении более полувека эксплуатировался в самых суровых условиях – это монолитная теплоизоляция трубопроводов бесканальной прокладки, свыше 6000 км, в условиях болот, где строительные конструкции разедаются гуминовыми кислотами, блуждающими токами и солевыми растворами. Трубы разрушаются, а пенобетон не теряет ни цельной структуры, ни прочности, ни теплоизоляционных свойств, не говоря уже о том, что это самый экологически чистый материал. Кроме того, пенобетон пассивирует металл от коррозии, создавая повышенную щелочность (рН) его поверхности.

9.3 Методы производства пенобетона, их сравнение

На сегодняшний день наибольшее распространение получили три метода производства пенобетона.

1. Классический.

По этому методу сначала готовят цементное тесто или цементно-песчаный раствор, а затем в него добавляют специально приготовленную пену из пеногенератора. Раствор в бетоносмесителе смешивается с пеной и получается пенобетонная смесь, которая при последующем твердении образует пенобетон.

Этот способ можно назвать наиболее отработанным и надежным, что отражено и в его названии.

Для данного метода обычно используются органические пенообразователи, смесители с улучшенным смешением компонентов и специальные пеногенераторы (см. *фильм о производстве на прилагаемом компакт-диске*).

2. Сухая минерализация

По этому методу пенобетонная смесь получается при совмещении сухих компонентов с низкократной пеной, непрерывно подаваемой пеногенератором. При этом образуется устойчивая пенобетонная смесь с малым количеством свободной воды. На поверхности пенных пузырьков оседают мелкие частицы твердой фазы. Высокая насыщенность ПАВ поверхности раздела «воздушная пора – дисперсионная среда» предопределяет формирование гладкой глянцевой поверхности стенок пор. Такой метод зачастую используется при непрерывной технологии производства пенобетона.

Для данного метода используется пенообразователь СДО, пеногенераторы и специальные смесители.

3. Баротехнология

По этому методу пенобетон получается под избыточным давлением смеси всех сырьевых компонентов. В баросмеситель сначала заливается вода с пенообразователем, потом подаются все компоненты. После этого в баросмеситель компрессором нагнетается воздух, создавая давление внутри. Пенобетонная смесь, полученная в пенобаробетоносмесителе, под давлением транспортируется из смесителя к месту укладки в формы или монолитную конструкцию.

Для данного метода используются синтетические пенообразователи и специальные бароустановки (см. *фильм о производстве на прилагаемом компакт-диске*).

Если заливать пенобетон на стройке в опалубку, то кроме установки, работающей по одной из этих технологий, ничего не нужно. Если производить пенобетонные блоки, то в этом случае необходимо будет использовать особые технологические приемы и соответствующую им оснастку.

Существует три способа получения блоков.

1. Заливка пенобетона в кассетные металлические формы.

Залитый пенобетон застывает в течение 10 часов, после чего форма разбирается, и из нее достаются готовые блоки. Одну форму можно использовать 2 раза за сутки. Соответственно, если производить 20 м³ пенобетона в день, то нужно 10 форм и 2-сменная работа.

Мы производим высокоточные формы с отклонением размеров на блок не более 1 мм. При изготовлении формы применяется лазерная резка и фрезеровка. Формы универсальные – в одной и той же форме можно производить и перегородочные блоки толщиной 100 мм, и стеновые толщиной 200 мм. Типоразмеры форм – 500х300х100 (200), 600х300х100 (200), 400х200х200. Возможна поставка форм других типоразмеров.

При объемах производства до 40 м³ блоков в день технология разливки по формам экономически более целесообразна. Плюсы: сравнительно небольшие вложения и простота производства. Минусы: трудно производить большие объемы; привязанность к типоразмерам.

2. Резка пенобетонных массивов на резательных установках.

Сначала пенобетон заливается в формы без перегородок, где получается большой массив объемом 2–3 м³. Примерно через 14 часов пенобетон подается на резку, где из него выпиливаются блоки нужного размера (этот процесс автоматизирован).

Данный метод отличается высокой производительностью и технологичностью. Причем при резке пенобетона можно получать блоки любых типоразмеров. Минусы: высокая стоимость и отход 0,5 % в виде крошки от пиления.

3. Разливка пенобетона в специальные формы и их последующая автоматическая распалубка.

Сначала пенобетон заливается в специальные формы с перегородками, где при застывании получают готовые блоки. Примерно через 14 часов формы подаются в установку автоматической распалубки, где блоки выдавливаются на европоддон, а формы при этом смазываются.

Данный метод прост и производителен. Основной недостаток: привязанность к одному типоразмеру выпускаемых блоков. Установку автоматической распалубки невозможно перенастроить на производство блоков других типоразмеров.

9.4 Нормативные документы на пенобетон

Все документы можно посмотреть на *прилагающихся компакт-дисках*.

Пенобетон должен соответствовать следующим нормативным документам:

1. ГОСТ 25485-89 БЕТОНЫ ЯЧЕИСТЫЕ, ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ;
2. ГОСТ 21520-89 БЛОКИ ИЗ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ СТЕНОВЫЕ МЕЛКИЕ, ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ;
3. СН 277-80 ИНСТРУКЦИЯ ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА;
4. ГОСТ 5742-76 ИЗДЕЛИЯ ИЗ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ.

Типовые вопросы, возникающие при прочтении ГОСТов:

Вопрос: Что такое класс по прочности на сжатие, и как перевести его в килограммы?

Ответ: Бетоны подразделяются на классы: В0,5, В1,5...В60, которые определяются величиной гарантированной прочности на сжатие.

При производстве важно знать среднюю прочность – марку (М5...М600 и выше).

Приблизительно перевести класс бетона в марку можно, разделив класс на 0,77, умножив результат на 10 и округлив до 5 в последней цифре. Например, В1 = М15

Также существует ГОСТ 25192-82 по маркам и классам.

Теперь смотрим табличку выше и видим, что для пенобетона марки 600 установлен средний класс по прочности на сжатие В2, т.е. $(2/0,77) \cdot 10 = 26$. Таким образом, получается марка пенобетона М26.

На всякий случай: марка – это показатель прочности, обозначается буквой «М» с цифровым значением. Цифры показывают, какую нагрузку на 1 см² может выдержать изделие. Например, марка 100 (М100) обозначает, что изделие гарантированно выдержит нагрузку в 100 кг на 1 см². Соответственно, пенобетон плотностью 600 может выдержать нагрузку 26 кг на 1 см².

Вопрос: что такое марка по морозостойкости?

Ответ: Морозостойкость бетона – способность сохранять свои свойства при многократном переменном замораживании и оттаивании. Морозостойкость бетона характеризуют соответствующей маркой по морозостойкости F – минимальное число циклов замораживания и оттаивания образцов бетона.

9.5 Организация производства пенобетона для начинающих

Цель данной главы – дать ответ на наиболее распространенные вопросы начинающих пенобетонщиков об организации производства и необходимых вложений. Что касается технологии, будем надеяться, вы нашли необходимую информацию, прочитав первую часть книги.

Вот основные вопросы, которые задают начинающие.

1. Сколько денег нужно вложить?

Количество денег зависит от планируемого объема производства. Для начала нужно определиться, какой объем продукции в кубометрах будет выдавать планируемое производство. Естественно, что это тоже зависит от суммы вложений. Поэтому ниже (см. *таблицу 9.5-1*) приводится усредненный бизнес-план на производство 20 м³ блоков в день. Для увеличения или уменьшения объема плюс-минус 10 м³ достаточно прибавить-убавить количество форм на 10 и уменьшить запас химикатов на первый месяц.

Получается, что для запуска производства с ежедневным объемом выпуска 20 м³ блоков необходимо около 1,6 млн. руб. Но это только прямые расходы. Настоятельно рекомендуем иметь в запасе минимум 30% от прямых расходов для покрытия непредвиденных расходов – транспортных, арендных, государственных и т.п.

2. Какое нужно помещение?

Размер помещения опять-таки зависит от планируемого объема производства. Ниже приводится типовый план производства, из которого видно, что на производство 20 м³ блоков в день требуется помещение около 300 м². Необходимые изменения в зависимости от объема можно легко сделать самостоятельно. Большие зазоры между формами нужны для того, чтобы можно было откидывать борта форм и проносить между ними продукцию (см. *рис. 9.5-1*).

3. Сложно ли наладить производство?

Наверное, всем известно, что организовать дело не сложно, а очень сложно. Но, к счастью, не невозможно. Какие же трудности ждут организаторов на этом пути? Первое – это подбор помещения и персонала, второе – подведение всех коммуникаций, третье – покупка оборудования и материалов, четвертое – запуск производства и выпуск качественной продукции, пятое – продажа готовой продукции.

При подборе помещения лучше ориентироваться на промышленные районы. Помещение должно быть отапливаемым и с водой, а в остальном один принцип: чем дешевле, тем лучше.

Расход	Сумма, руб.		
Стоимость цемента М500Д0 за 1 тонну, с доставкой	2 500		
Стоимость 1 тонны песка с доставкой	250		
Зарплата 1 работника в месяц	12 000		
Зарплата мастера смены в месяц	15 000		
Зарплата бухгалтера в месяц	10 000		
Аренда помещения	100 000		
Стоимость электроэнергии, за 1кВт	2		
Стоимость отопления за месяц (т.к. отопление нужно 7 месяцев в году, то берем не полную сумму, а 7\12 от суммы за год)	21 000		
Прочие коммунальные платежи, м-ц (уборка мусора, оплата воды и т.п.)	2 000		
Прочие расходы, м-ц	50 000		
Налоги не учитываем, т.к. выбираем упрощенную схему налогообложения с оплатой 6% от оборота.	6		
Параметры производства:			
Параметр	Кол-во		
Производительность, м³/смена	20		
Количество рабочих дней в месяц	22		
Рыночная (отпускная) цена, руб/м3	2 000		
Количество рабочих	7		
Количество мастеров	1		
Количество бухгалтеров	1		
Расход электричества в день, кВт	90		
Капитальные вложения:			
Название вложения	Кол-во	Цена	Сумма
Комплекс Фомм-Проф 500	1	223 400	223 400
Высокоточная, универсальная форма 500х300х200, 1 м³	20	38 000	760 000
Компрессор-К2	1	39 900	39 900
Погрузчик 2 тонны, б\у	1	192 000	192 000
	Итого:		1 215 300

Таблица 9.5-1 (окончание на стр. 532)

Стоимость материалов необходимых для производства 1 куб.м. пенобетона, плотность 600 кг/м³			
Наименование	Кол-во на 1 м³	Цена	Сумма
Цемент М500Д0, кг.	310	2,50	775
Песок, кг.	210	0,25	53
Пенообразователь Ареком-46, литров	1,40	39,80	55,72
Смазка форм Компил, литр	0,50	21,00	10,50
Ускоритель твердения Асилин-12, кг.	1,00	36,00	36,00
	Итого:		930
Расходы на производство пенобетона в месяц			
Статья расхода			Итого, руб
Материалы для производства за месяц			409 077
Зарплата работников			84 000
Зарплата мастеров			15 000
Зарплата бухгалтеров			10 000
Налоги (6% с оборота)			52 800
Аренда			100 000
Отопление			21 000
Электричество			3 762
Прочие коммунальные платежи, мес (уборка мусора, оплата воды и т.п.)			2 000
Прочие расходы, м-ц			50 000
			747 639
Расчет окупаемости:			
Статья			Сумма
Затраты на открытие производства			1 215 300
Выручка от продажи пенобетона в месяц			880 000
Ежемесячные расходы			747 639
Чистая прибыль в месяц без затрат на открытие			132 361
Срок окупаемости, месяцев			9,18
Таким образом, производство пенобетона окупается за 9,18 месяцев			

Таблица 9.5-1 (окончание)

Среди всего персонала должен быть один мастер-руководитель. Он должен научиться производить пенобетон и управлять персоналом. Остальные работники могут быть любого уровня, вполне достаточно обычных исполнителей.

При покупке оборудования лучше выбирать фирму, во-первых, старую и проверенную, во-вторых, ту, которая сможет обучить вашего мастера производства. Мы рекомендуем завод «Строй-Бетон» (www.ibeton.ru, тел.(812) 541-91-45), хотя, без сомнения, в России есть и другие, не менее достойные компании.

Покупку материалов лучше делать крупным оптом – цемент вагонами, песок машинами. На этом можно серьезно сэкономить.

Запуск производства лучше начинать постепенно, сначала 1 м^3 в день. Получилось – переходим на 5 м^3 , потом на полную мощность. Каждая неудача стоит всех материалов, потраченных на производство.

Качество продукции зависит от исходных материалов (песка, цемента, пенообразователя) и производителя оборудования.

Продажей лучше заниматься на первых порах самостоятельно. Рынки сбыта – оптовые базы, частные застройщики, строители. На них можно выйти посредством личных контактов и с помощью рекламы в местных газетах.



Рис. 9.5-1

4. Какие материалы нужны для производства?

Для производства нужны вода, цемент, песок и пенообразователь. Количество указано в бизнес-плане выше. Цемент М500Д0, песок до 2 мм, глины до 2 %, пена белковая, вода питьевая.

5. Какова себестоимость продукции?

Смотрите бизнес-план выше.

6. Как быстро окупается?

Смотрите бизнес-план выше.

9.6 Организация завода по производству пенобетонных блоков

В этой главе мы рассмотрим вопрос организации больших производств. Под большими мы понимаем производства с производительностью от 100 м³ пенобетонных блоков в сутки.

Для организации подобного производства нужно помещение площадью не менее 1000 квадратных метров и значительные вложения в оборудование.

Для начала рассмотрим схему организации такого производства (см. *рис. 9.6-1*).

Как видно из схемы, требуется помещение площадью 1200 квадратных метров. Оно должно быть отапливаемое, иметь подводку воды и электрическое подключение мощностью около 200 кВт.

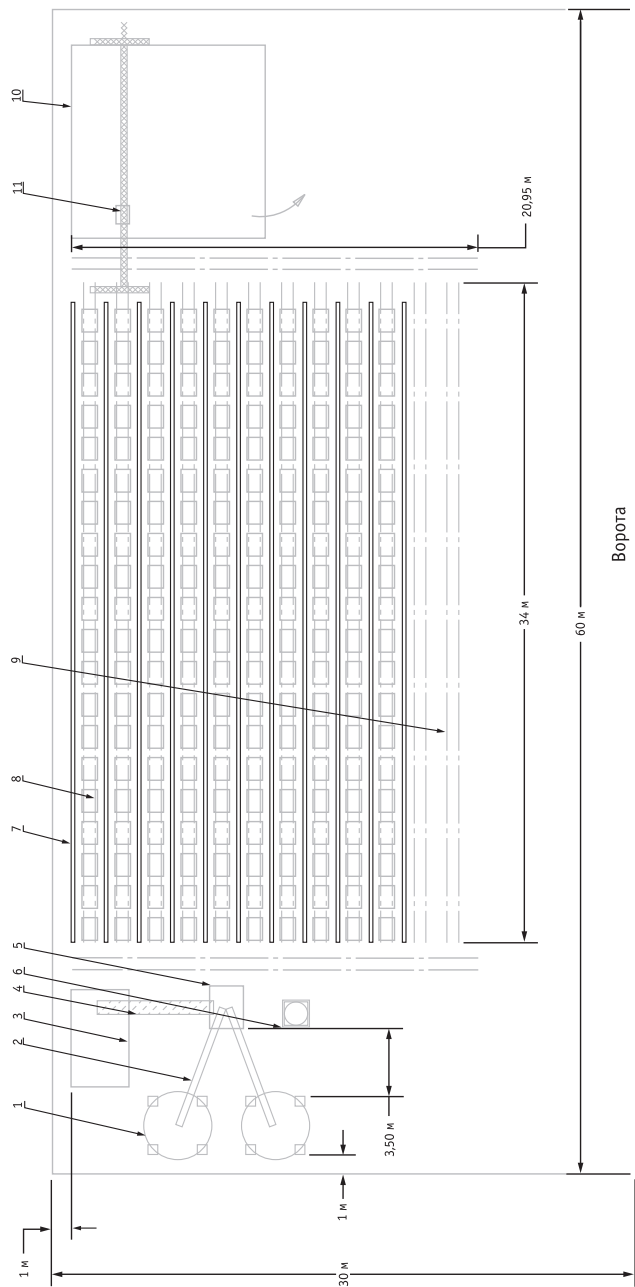
В рамках подобного производства возможно получение блоков по одной из двух технологий.

1. Резка линией с ленточными пилами

Резки на базе струн мы не рассматриваем, так как на них невозможно получить качественную продукцию, а при производстве такого объема качество очень важно для последующего сбыта.

Данные линии предназначены для резки крупногабаритных пенобетонных блоков (макс. 3000х1650х600 мм) на отдельные блоки заданных размеров. Линии обычно включают в себя три вертикальных ленточнопильных станка, смонтированных на точных рельсовых направляющих, по которым они перемещаются в процессе пиления посредством частотно-регулируемого электропривода. Все станки связаны между собой системой транспортеров в виде конвейерных цепей.

Линии работают следующим образом: пенобетонная отливка специальным захватом устанавливается на приемный стол, состоящий из двух или трех кон-



Примечание:

1 – силос цемента (60 м³); 2 – шнековый транспортер; 3 – хранилище песка; 4 – транспортер для подачи песка; 5 – установка «Форм-Проф 1000», бункер автоматический дозирующий (1 м³); 6 – бункер автоматический дозирующий для воды (0,4 м³); 7 – пропарочные камеры; 8 – рельсы для движения форм; 9 – форма (0,5 м³); 10 – установка автоматической распалубки; 11 – кран-балка (< 1,5 т).

Рис. 9.6-1

вейерных цепей, в зависимости от размещения исходного блока. Конвейером блок перемещается до упора, расположенного на поперечном относительно приемного стола конвейере. Первый ленточнопильный станок, двигаясь вдоль поперечного конвейера, отрезает от большого блока панель заданной толщины; конвейером она подается на роликовый стол кантователя, который поворачивает ее на 90 градусов; своей широкой стороной панель ложится таким образом, что ее боковая часть (часть «горбушки» большого блока), свисает с транспортной ленты. Эту «горбушку» срезает второй ленточнопильный станок, после чего транспортерной лентой кантователя панель подается до упора, смонтированного на цепном конвейере третьего ленточнопильного станка; циклично перемещаясь поперек панели, он распиливает ее на отдельные блоки, которые цепным конвейером транспортируются из зоны резки к зоне складирования.

Следует отметить, что в рабочем режиме линии процессы резки на блоки и отпиливания следующей панели происходят одновременно, это позволяет производить за смену около 100 кубометров пенобетонных блоков.

Линии обслуживаются одним оператором и его помощником. Управление может осуществляться как в ручном, так и в автоматическом режиме.

К основным преимуществам данной технологии можно отнести быструю перестройку оборудования на блоки любых размеров, точность распила и безукоризненно ровную поверхность блоков, что позволяет вести их кладку на клей; высокую стойкость специальных ленточных пил с карбидным напылением зубьев, составляющую 8 тыс. м² по площади распила.

Основные недостатки – повышенная шумность и запыленность.

Посмотреть фильм о данной линии можно на *прилагающемся компакт-диске*.

2. Использование станка автоматической распалубки форм

Эти станки работают по принципу выдавливания блоков из форм. То есть вместо разборной формы, делается неразборная, но с незакрепленным основанием. После затвердевания бетона форма без основания подается на станок, где на блоки начинают давить пуансоны, выталкивая их из формы прямо на европоддон. При выдавливании форма одновременно смазывается.



Рис. 9.6-2. Резательная линия с ленточными пилами



Рис. 9.6-3. Станок автоматической распалубки форм

Преимущества станков автоматической распалубки форм – в их производительности, кроме того, они позволяют сразу же укладывать готовую продукцию на поддоны.

Основной минус – на данных установках можно производить только один типоразмер блоков.

Итак, сначала нужно определиться с технологией, по которой будут производиться блоки – резка или автоматическая распалубка. После этого можно приступать к планированию организации завода.

Сначала определимся с перечнем оборудования, которое потребуется в процессе производства. Для примера возьмем линии, поставляемые заводом «Строй-Бетон» (www.ibeton.ru).

Приобретая завод по производству пенобетона, нужно обязательно требовать от поставщика и включать в

условия контракта следующие пункты:

1. помощь в шеф-монтаже линии до запуска оборудования;
2. запуск завода и производство первых промышленных партий пенобетона;
3. обучение технолога и/или мастера заказчика технологии производства пенобетона и работе с оборудованием;
4. подбор компонентов для производства пенобетона с максимальным использованием местных материалов;
5. обучение менеджеров заказчика методам продажи готовой продукции;
6. последующее сопровождение поставляемого завода (поставка запчастей, химикатов, уведомление о новых разработках и способах применения продукции).

Типовой завод пенобетона состоит из 5 основных производственных участков:

1. склад цемента с автоматической дозацией;
2. склад песка с автоматической дозацией;
3. линия автоматизации подачи и дозации цемента, песка, воды;
4. линия производства пенобетона;

5. линия пенобетонных блоков (линия резки или автоматической распалубки форм).

Производительность типовых заводов пенобетона – от 50 до 100 м³ пенобетонных блоков в смену.

Под каждый заказ обычно разрабатывается предварительный проект размещения оборудования в помещениях заказчика, либо разрабатывается план помещений под заказанный завод пенобетона нужной производительности (типовой проект был приведен выше).

Ниже следует описание участков завода пенобетона.

1. Склад (силос) цемента

Предназначен для приема цемента из автоцементовозов или вагонов, хранения и подачи его в весовые дозаторы пенобетоносмесительной установки. Возможна организация приема цемента из Биг-Бэгов.

Участок состоит из цементных бункеров нужного объема. Количество бункеров и их объем подбираются специалистами при составлении спецификации завода.

2. Склад песка

Предназначен для приема песка из самосвалов, просеивания, хранения и подачи на автоматический дозирующий комплекс.

Возможно несколько вариантов организации хранения и подачи песка. Каждый из них зависит от вида помещений, где они будут располагаться, от заданной степени автоматизации.

Типовой вариант с полной автоматизацией: в наружную стену производственного здания встраиваются два бункера, куда выгружаются самосвалы; из них песок подается ковшовым транспортером в приемный бункер внутри здания, с одновременным просеиванием; из приемного бункера просеянный песок ленточным транспортером подается непосредственно в дозирующий комплекс.

Варианты организации линии хранения цемента и песка

Существует множество вариантов организации подобной линии. Идеальный вариант – установка всех бункеров внутри производственного помещения. При такой установке не возникает проблем при работе завода в зимний период. Но зачастую это неосуществимо из-за большой высоты бункеров. Стандартный бункер цемента требует помещения высотой 14 метров. Иногда производитель не располагает такими помещениями. В этом случае возможно два варианта решения проблемы: установка нескольких бункеров меньшего объема и высоты или линии сыпучих продуктов снаружи помещения.

3. Линия автоматизации подачи компонентов в установку

Состоит из дозирующего бункера под цемент с песком, соединенным с установкой Фомм-Проф1000 и системы дозирования воды Проф. Производитель-

ность линии – до 30 м³ смеси в час. Процесс полностью автоматизирован, требуется только оператор для управления установкой с электронного пульта. Все дозирующие комплексы связаны с установкой для производства пенобетона с помощью автоматических задвижек и передающих устройств, что позволяет полностью исключить ручной труд.

4. Линия пенобетона

Состоит из установки Фомм-Проф нужной производительности и объема. Установка подбирается специалистами под конкретные условия эксплуатации. Объем установки может варьироваться от 0,5 до 2 кубометров.

5. Линия получения пенобетонных блоков

На стадии проектирования завода нужно определиться с технологией получения пенобетонных блоков. Возможны 2 варианта.

1. Резка пенобетона. Пенобетон заливается в большие формы (до 2,5 м³) без перегородок. После твердения пенобетона большой массив подается на линию распиловки, где из него ленточными пилами в автоматическом режиме выпиливаются блоки. При данном способе возможно получение блоков любых типоразмеров (описание линии резки прилагается).
2. Автоматическая распалубка пенобетонных блоков. Пенобетон заливается в специальные формы с перегородками, и после твердения формы подаются на установку автоматической распалубки. Установка выдавливает блоки на поддоны и при этом автоматически смазывает формы. При данном способе можно получить блоки только одного типоразмера. Перенастройка установки невозможна.

Рекомендуемая площадь для подобного производства – 1400 м².

Заводы такого типа полностью автоматизированы, ручной труд нужен только для упаковки готовой продукции и операций по подготовке форм к производству.

Примерные расчеты стоимости заводов (предоставлены заводом «Строй-Бетон», www.ibeton.ru) таковы:

1. На базе линии резки – см. *таблицу 9.6-1*.
2. На базе установки автоматической распалубки – см. *таблицу 9.6-2*.

К данным расходам нужно добавить затраты на организацию пропарочных камер, погрузчики кран-балки и т. п.

Технологическая схема производства. Порядок проведения работ и необходимое количество работников для одной смены (12 часов)

1. Загрузка цемента в бункер хранения производится цементовозом. Для обслуживания участка хранения цемента требуется 1 человек.

1	Бункер цемента, 60 тонн	1	368 000	368 000
2	Шнековый транспортер, 5 метров	1	98 000	98 000
3	Бункер для песка с транспортером выдачи и ситом, 12 м ³	1	224 000	224 000
4	Транспортер для подачи песка, 7 метров	1	139 000	139 000
5	Бункер автоматический дозирующий, 1м ³	1	390 000	390 000
6	Система дозации воды Проф	1	64 000	64 000
7	Установка для производства пенобетона ФОММ-ПРОФ1000	1	267 000	267 000
8	Линия резки пенобетона на базе ленточных пил, полная автоматизация.	1	1 050 000	1 050 000
9	Форма 1,2 x 1,2 x 0,6 м 0,8 м ³	65	24 000	1 560 000
10	Монтаж оборудования, пуск, отработка технологии, выпуск первых партий	1	230 000	230 000
Итого:			4 390 000 руб.	

Таблица 9.6-1

1	Бункер цемента, 60 тонн	2	368 000	736 000
2	Шнековый транспортер, 5 метров	2	98 000	196 000
3	Бункер для песка с транспортером выдачи и ситом, 12 м ³	1	224 000	224 000
4	Транспортер для подачи песка, 7 метров	1	152 000	152 000
5	Бункер автоматический дозирующий, 1м ³	1	390 000	390 000
6	Бункер автоматический дозирующий для воды, 0,4 м ³	1	92 000	92 000
7	Установка для производства пенобетона ФОММ-ПРОФ2000	1	361 000	361 000
8	Установка Р-Проф – автоматическая распалубка форм в 2 ряда	1	780 000	780 000
9	Форма для установки Р-Проф, 500 x 300 x 200, объем 0,5 м ³	200	23 000	4 600 000
10	Колесо чугунное диаметром 100 мм	800	890	712 000
11	Монтаж оборудования, пуск, отработка технологии, выпуск первых партий	1	230 000	230 000
Итого:			8 473 000 руб.	

Таблица 9.6-2

2. Выгрузка песка производится самосвалами в специальный приемный бункер, откуда автоматически подается в бункер хранения. Во время подачи производится просеивание песка. Для обслуживания участка, приемки и хранения песка требуется 1 человек.
3. Подача песка, цемента и воды в установку производится автоматически. После получения пенобетона в установке пенобетонная масса поступает в приемный бункер, откуда насосом подается в формы, установленные

на рельсах. Для обслуживания комплекса по производству пенобетона требуется 1 человек.

4. После заливки пенобетона в формы, установленные на рельсах, и его затвердевания формы подаются на линию получения блоков. Ориентировочное время с момента заливки до готовности – 14 часов.
5. Подготовленные формы по рельсам подаются на линию получения блоков, где происходит процесс резки или автоматической распалубки; затем блоки поступают на линию упаковки. Для обслуживания линии резки или распалубки требуется 3 человека.
6. Готовые блоки ставятся на европоддоны и стягиваются стрейч-лентой. Одновременно происходит подготовка формы к следующей заливке – чистка от остатков пенобетона и смазка. На данную операцию требуется 4–6 человек. Возможна автоматизация очистки и смазки форм. Это уменьшает необходимое количество работников на 2 человека.
7. Европоддоны забираются погрузчиком и отвозятся на склад готовой продукции. На данную операцию требуется 1–2 человека.

Рекомендуемые параметры производственных помещений для монтажа комплекса:

1. площадь не менее 1000 м²;
2. высота потолков на участке хранения сыпучих компонентов – 14 метров, в остальных помещениях – 3 метра (или организация хранения цемента снаружи здания);
3. температура не менее +15 °С;
4. наличие подъездных путей для грузовиков.

Для каждого помещения создается своя технологическая схема расположения оборудования.

9.7 Технологический регламент на производство пенобетона

Технологический регламент на производство пенобетона приведен в *Приложении 4*.

9.8 Сертификация производств

Один из наиболее часто задаваемых вопросов, интересующий начинающих производителей: какие документы нужны для производства и продажи пенобетона?

Начнем по порядку. Допустим, мы запустили производство пенобетона и начали выпускать продукцию. Для продажи пенобетонных блоков необходимы следующие документы.

1. Гигиенический сертификат.

Выдается в СЭС. Для его получения необходимо предоставить учредительные документы на фирму, сертификаты на составляющие пенобетона, гигиенический сертификат на производственное помещение. Кстати, последний получить труднее всего. Хотя и эту проблему можно решить.

2. Протокол испытаний на прочность

Его можно получить в любой сертифицированной ЖБ лаборатории. Туда нужно предоставить блоки в «возрасте» 28 дней, и вам выдадут бумагу, в которой будет указана их плотность и прочность на сжатие. Это очень важный документ, и его нужно получать на каждый определенный объем пенобетона (периодичность устанавливается внутренним регламентом). Данный документ снимает ответственность с производителя, перекладывая ее на проектировщика и строителей. Производитель просто производит материал определенной прочности и дает на него документы, а как из него строить, решает проектирующая организация. По прочности пенобетон должен соответствовать ГОСТу (см. главу 4, часть 2). Если его прочность ниже, то в ТУ пенобетона (см. главу 7, часть 2) вносятся корректировки, и пенобетон будет называться не «гостовским» а «ТУшным».

3. Отказное письмо из Росстандарта о том, что пенобетон не включен в списки товаров, подлежащих обязательной сертификации.

На пенобетон действительно не нужно получать этот сертификат, но многие в это не верят, вот для них и нужна эта бумага. Можно показывать документ, приведенный ниже (см. рис. 9.8-1).

Для функционирования самого производства нужно пройти следующие инстанции (или подождать, пока они появятся сами – иногда по 4 года идут...)

1. СЭС;
2. архитектор района или города;
3. пожарники;
4. «зеленые».

9.9 Расчет толщины стены из пенобетона

Пенобетон как строительный материал стал востребован в России после вступления в силу СНИП 2-3-79 (а позднее и СНиП 23-02-2003). В нем были определены новые нормы по теплоизоляции стен, по которым, например, минимальная толщина кирпичной стены должна быть около 2 метров. Естественно,



СЛ42

Исх. № 94 от 08.11.2005 г.

Орган по сертификации «Центр качества строительства»

190013, Санкт-Петербург, Подъездной переулок, д. 15
Телефон: (812) 316-52-97, факс: (812) 317-89-56
E-mail: os_eks@mail.ru

На Ваш запрос от 07.11.2005 г. сообщая:

В соответствии с Постановлениями Правительства Российской Федерации от 13.08.1997 г. № 1013 «Об утверждении перечня товаров, подлежащих обязательной сертификации, и перечня работ и услуг, подлежащих обязательной сертификации» и № 72 от 10.02.2004 г. «О внесении изменений в перечень товаров, подлежащих обязательной сертификации, и перечень работ и услуг, подлежащих обязательной сертификации»; Постановлением Госстандарта России от 22.06.2002 г. № 64 с внесением изменений, утвержденных приказами Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22.07.2004 г. № 7 и от 13.10.2004 г. № 57 «О Номенклатуре продукции и услуг (работ), подлежащих обязательной сертификации, и Номенклатуре продукции, соответствие которой может быть подтверждено декларацией о соответствии»; в соответствии с письмом Госстроя России от 29.01.2003 г. № ЛБ-477/9 «Номенклатура продукции и услуг (работ), подлежащих обязательной сертификации в области строительства:

не подлежат обязательной сертификации.

Руководитель органа по сертификации
«Центр качества строительства»



Ю.А. Еремин

Рис. 9.8-1

что строить дома с такими стенами экономически невыгодно, и строители стали искать материал на замену кирпичу. Этот материал должен был обеспечивать хорошую теплоизоляцию, быть экологически чистым и долговечным. Всем этим требованиям отвечает пенобетон, и поэтому спрос на данный материал в настоящее время непрерывно растет.

Итак, в данной главе мы рассчитаем необходимую толщину наружной стены при ее строительстве одним из двух наиболее популярных методов: кирпич-пенобетон или оштукатуренный пенобетон. Пенобетон в стене может быть различной плотности, мы рассчитаем варианты стены для плотностей 600, 800 и 1000 кг/м³.

На примере расчета необходимой толщины стены в данной статье вы сможете в дальнейшем самостоятельно рассчитывать толщину любой стены, из любых материалов.

Что нужно знать для расчета:

1. Теплотехнические характеристики всех материалов, из которых будет состоять стена. У каждого строительного материала есть теплотехнические характеристики. Это теплопроводность или сопротивление теплопередаче (величина, обратная теплопроводности). Эти коэффициенты, необходимые для расчета теплопотерь, показывают, какая мощность теряется каждым квадратным метром наружной поверхности конструкции при ее толщине в 1 м и разницей температур между наружной и внутренней поверхностью в 1° ($k_t = \text{ватт}/(\text{м} \cdot \text{т})$). Данные для многих материалов приведены в СНиП 2-3-79.
2. ГСОП (Градусо-сутки отопительного периода, $^\circ\text{С}$ в сутки). Данный показатель можно рассчитать по формуле из СНиП 2-3-79, а можно просто взять из справочника. Например, для Москвы и Санкт-Петербурга он менее 6000.
3. Сопротивление стены теплопередаче. Оно зависит от ГСОП и берется из СНиП. В нашем случае, при ГСОП 6000, сопротивление теплопередаче у стены должно быть не менее $3,5 (^\circ\text{С} \cdot \text{м}^2/\text{Вт})$.

Итак, наша стена должна иметь суммарное сопротивление теплопередаче не менее $3,5 (^\circ\text{С} \cdot \text{м}^2/\text{Вт})$; так как каждый слой имеет свое сопротивление теплопередаче, то сопротивление всей стены, согласно СНиП 2-3-79, измеряется как сумма сопротивлений слоев.

Также нам понадобится коэффициент теплопроводности $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$ всех материалов, используемых для стены:

1. кирпич лицевой М-150 – 0,56;
2. пенобетон, плотность 600 – 0,14;
3. пенобетон, плотность 800 – 0,21;
4. пенобетон, плотность 1000 – 0,29;
5. штукатурка – 0,58.

Ниже следует расчет пенобетонного слоя для двух вариантов стен:

Первый вариант: облицовочный кирпич (250 х 120 х 65) + пенобетон (х мм) + штукатурка (20 мм).

Рассчитаем, какая нужна толщина пенобетона.

Толщина кирпича в стене, при обычной укладке, 120 мм. Разделим толщину в метрах на теплопроводность $0,12/0,56$ и получим сопротивление теплопередаче кирпичного слоя 0,21. Толщина штукатурки 20 мм, следовательно ее сопротивление теплопередаче равно $0,02/0,58 = 0,03$.

Рассчитаем толщину пенобетонного слоя – см. таблицу 9.9-1.

Плотность пенобетона	Формула	Результат – требуемая толщина слоя
600	$x = (3,5 - 0,21 - 0,03) \cdot 0,14$	450 мм
800	$x = (3,5 - 0,21 - 0,03) \cdot 0,21$	680 мм
1000	$x = (3,5 - 0,21 - 0,03) \cdot 0,29$	940 мм

Таблица 9.9-1

Плотность пенобетона	Формула	Результат – требуемая толщина слоя
600	$x = (3,5 - 0,21 - 0,06) \cdot 0,14$	480 мм
800	$x = (3,5 - 0,21 - 0,06) \cdot 0,21$	720 мм
1000	$x = (3,5 - 0,21 - 0,06) \cdot 0,29$	1000 мм

Таблица 9.9-2

Второй вариант: штукатурка (20 мм) + пенобетон (х мм) + штукатурка (20 мм).

Толщина штукатурки (суммарная) 40 мм, следовательно, ее сопротивление теплопередаче 0,06.

Соответственно, толщина пенобетонного слоя должна быть – см. *таблицу 9.9-2*.

Мы рассчитали необходимую толщину стены для соответствия теплопроводности по СНИП 2-3-79, учитывая различные варианты укладки стен.

ВАЖНО!

В расчете взяты коэффициенты в сухом состоянии. Коэффициенты расчетные для плотности 600 – 0,22, для плотности 800 – 0,33, тогда толщина стены, согласно расчетам, равна:

плотность 600 $(3,5 - 0,21 - 0,03) \cdot 0,22 = \mathbf{0,717 \text{ м;}}$

плотность 800 $(3,5 - 0,21 - 0,03) \cdot 0,33 = \mathbf{1,076 \text{ м.}}$

9.10 Паропроницаемость стен из пенобетона

В данной главе мы постараемся дать ответ на следующие вопросы: что такое паропроницаемость, и нужна ли пароизоляция при строительстве стен дома из пенобетона и кирпича (или штукатурки и пр.)?

1. Определение понятия паропроницаемости

Паропроницаемость слоя материала – способность пропускать или задерживать водяной пар в результате разности парциального давления водяного пара при одинаковом атмосферном давлении на обеих сторонах слоя материала, характеризуемая величиной коэффициента паропроницаемости или сопротивлением проницаемости при воздействии водяного пара. Единица измерения m – расчетный коэффициент паропроницаемости материала слоя ограждающей

конструкции мг/(м час Па). Коэффициенты для различных материалов можно посмотреть в таблице в СНИП II-3-79

2. Способы строительства внешних стен и расчет их соответствия СНИП II-3-79

Способ 1 – внешняя стена из облицовочного кирпича 12 см, утеплитель – пенобетон плотностью 600, толщиной 400 мм, между ними раствор, внутренние стены оштукатурены, толщина 1,5 см.

Способ 2 – пенобетон плотностью 800, толщиной 500 мм, снаружи и внутри оштукатурен по 2 см.

Сопrotивление паропроонианию многослойной ограждающей конструкции определяют по сумме сопротивлений паропроонианию составляющих ее слоев. Но в пункте 6.4. СНИП II-3-79, написано: «Не требуется определять сопротивление паропроонианию следующих ограждающих конструкций: а) однородных (однослойных) наружных стен помещений с сухим или нормальным режимом; б) двухслойных наружных стен помещений с сухим или нормальным режимом, если внутренний слой стены имеет сопротивление паропроонианию более $1,6 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$ ».

В нашем случае мы имеем либо однородную, либо двухслойную конструкцию. В случае с однородной конструкцией все понятно, в случае с двухслойной – сопротивление паропроониаемости 400 мм пенобетона плотностью 600 равно $2,35 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$, что гораздо выше требуемого по СНиПу (для тех, кому интересно – минимальная толщина утепляющей стены из пенобетона плотностью 600–280 мм).

Итак, мы получили, что обе типичные конструкции удовлетворяют СНИП II-3-79, так что любые строители могут их использовать, не нарушая существующие нормативы.

Способ 3 с воздушной прослойкой между кирпичной и пенобетонной стенами мы не рассматривали, поскольку это получается дороже, а в том же СНиПе говорится: «Сопротивление паропроонианию воздушных прослоек в ограждающих конструкциях следует принимать равным нулю, независимо от расположения и толщины этих прослоек».

9.11 Звукоизоляция стен из пенобетона

Заключение о звукоизоляции перегородок из пенобетонных блоков приведено в *Приложении 5*.

9.12 Программы теплотехнического расчета, прочие строительные программы

Для самостоятельного расчета стены дома или ее проверки не обязательно делать все расчеты вручную. Данные программы опубликованы на сайте техпод-

держки бетонщиков www.allbeton.ru. Там же можно найти инструкции по их использованию. Точный адрес расположения программ: <http://www.allbeton.ru/viewtopic.php?t=8706>.

9.13 Фоторепортаж о строительстве дома из пенобетона

Начало строительства. Фундамент

Постройка любого дома начинается с фундамента. Участок нам достался не самый лучший. Мелкий песок, образующий плывуны в зоне грунтовых вод, залегающих почти под поверхностью. После долгих раздумий решились заложить сплошной плитный фундамент. Вариант не самый дешевый, но для нас он явился оптимальным. Удалось реализовать его с минимально возможными затратами без привлечения рабочих со стороны.

1.01 Усадьба до начала строительства.

1.02 После грубой работы бульдозера, снявшего растительный слой, производим выравнивание котлована вручную. С помощью обыкновенных совковых лопат, рейки и уровня получена ровная горизонтальная поверхность.

1.03 На выровненном ложе котлована из брусков сколочены «лестницы» — основа будущей опалубки.

1.04 К внутренним сторонам «лестниц» вертикально прибиваются доски, образуя т.н. «песочницы». Промежутки между ними образуют ребра жесткости с нижней стороны фундаментной плиты, на которые опираются несущие стены.

1.05 «Песочницы» заполняются крупным песком, который обильно поливается водой.

1.06 Затем песок тщательно трамбуется. В результате получается очень плотная поверхность, на которой обувь не оставляет отпечатка.

1.07 Уплотненный песок закрывается толстой полиэтиленовой пленкой, которая крепится к доскам степлером.

1.08 В жаркую погоду пленка становится эластичнее и хорошо натягивается.

1.09 По периметру лестниц вертикально вкапываются стойки опалубки.

1.10 Наружная опалубка из досок прибивается к стойкам, которые дополнительно укрепляются подкосами. Верх опалубки выравнивается строго по уровню.

1.11 Готовая опалубка обивается изнутри пергамином. Под несущие стены (в промежутки между «песочницами» и по периметру) укладываются арматурные каркасы.

1.12 По разметке раскладываются арматурные прутья нижней решетки и привязываются к каркасам проволочными скрутками.

1-01



1-02



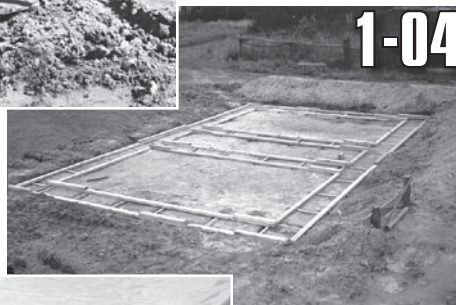
1-03



1-05



1-04



1-06

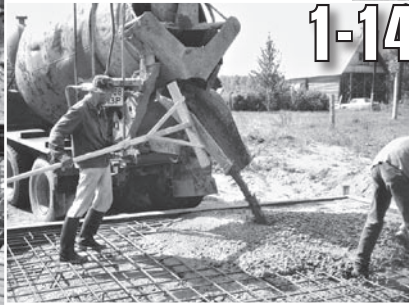
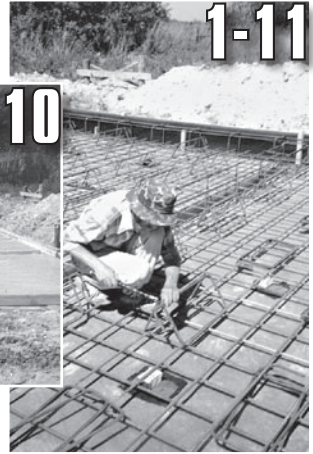
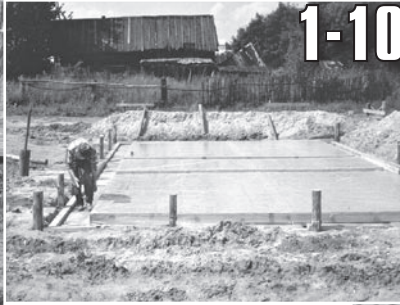


1-07



1-08





1.13 К связанной нижней решетке проволокой крепятся т.н «лисички» (проставки), к которым затем крепится верхняя арматурная решетка с шагом 20 см.

1.14 Наконец прибывает бетон. Укладка из «миксера» происходит быстро и без особых проблем. Марка и подвижность бетона определены в договоре с раствором узором.

1.15 Бетонную смесь равномерно распределяют по опалубке. Горизонтальность поверхности определена бортами опалубки.

1.16 Выравнивание поверхности бетона деревянной рейкой. Фундаментная плита получается ровной и прочной.

Начало строительства. Подвал

2.01 Газобетонные блоки для кладки стен подвала сложены на поддонах поверх фундаментной плиты.

2.02 Верх фундамента изолируется рубероидом на цементном растворе. Поверх рубероида расстилается другой слой раствора для кладки первого ряда блоков.

2.03 Первыми укладываются угловые блоки, нижнюю сторону которых смачивают водой для лучшего сцепления с раствором.

2.04 Уложенный блок сначала выравнивают по высоте, затем по горизонтали, и только после этого по красной линии.

2.05 На верх первого ряда кладки для защиты от капиллярной влаги наносится растворная гидроизоляция (Глимс-Водостоп).

2.06 Гидроизоляционный состав наносится в несколько слоев. Перед нанесением следующего слоя предыдущий тщательно увлажняется.

2.07 Дальнейшая кладка ведется на клеевом растворе. Все компоненты тщательно дозируются. Сухая клеевая смесь засыпается в воду.

2.08 Перемешивать клеевую смесь с помощью электродрели лучше в пластиковом ведре – легче отмывается, да и меньше гремит.

2.09 Зубчатый ковш – незаменимый инструмент при кладке блоков на клей.

2.10 Сначала смесь наносится на горизонтальную поверхность, а затем на вертикальную.

2.11 Очередной блок укладывается на место и выравнивается по горизонтали и по шнуру.

2.12 В кладке наружных стен циркуляркой с твердосплавным диском делают два параллельных пропила глубиной около 5 см.

2.13 С помощью зубила и молотка серединка между пропилами выламывается и очищается от осколков.

2.14 Над канавками вывешиваются арматурные прутья, свариваемые на углах.

2.15 Сваренная арматура фиксируется прокладками из щебня в центре канавки, заполняемой цементным раствором.

2.16 Для оконных и дверных перемычек свариваются небольшие арматурные каркасы.

2-01



2-03



2-02



2-07



2-04



2-05



2-08



2-06





2-09



2-10



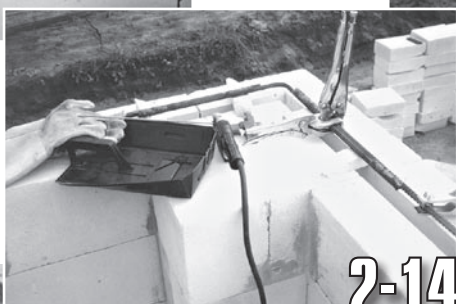
2-11



2-12



2-13



2-14



2-15



2-16



2.17 Из узких блоков над проемом склеивается «коробочка», в которую укладывается арматурный каркас. Коробочка заполняется бетонным раствором высокой прочности.

2.18 Резка блоков легко осуществляется электроножовкой типа «аллигатор».

2.19 Стены подвала (в том числе и внутренние) выложены. При работе в одиночку потребовалось примерно три недели.

Продолжение. Армированный пояс

3.01 Арматурные каркасы для железобетонного пояса изготавливаются непосредственно на стене. Готовые каркасы имеют слишком большой вес, чтобы их поднимать в собранном виде. Нарезанные в размер арматурные прутья укладываются на деревянные шаблоны поверх стены.

3.02 Каркасы поочередно свариваются и выравниваются по осям и по горизонтали.

3.03 В местах пересечений и стыков каркасы дополнительно скрепляются сваркой с помощью уголков.

3.04 Особенно тщательно скрепляется арматура в угловых стыках стен.

3.05 Закладные резьбовые анкеры нарезаются из оцинкованной шпильки М20.

3.06 На отрезках шпилек снимается заходная фаска для беспрепятственного закручивания гаек.

3.07 Резьбовые анкеры закрепляются сваркой на арматурном каркасе.

3.08 Все арматурные каркасы изготовлены, соединены между собой и тщательно выровнены.

3.09 Циркулярной пилой с твердосплавным диском на газобетонном блоке делаются направляющие надрезы с обеих сторон.

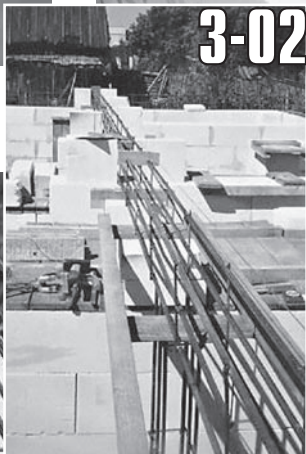
3-01



3-03



3-02



3-04



3-05



3-08

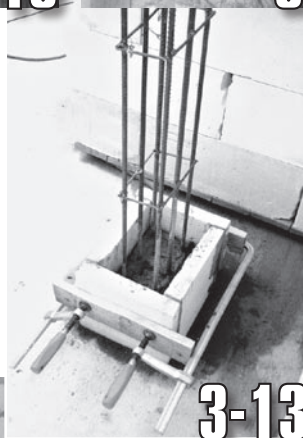


3-07



3-06





3.10 Затем используем электропилу-аллигатор, полотно которой точно идет по направляющим пропилам от циркулярки.

3.11 Таким образом из одного полномерного блока получаем несколько узких «дощечек».

3.12 Полученными «дощечками» с обеих сторон обкладываем уложенные на стенах арматурные каркасы, получая своеобразное корыто.

3.13 Несъемную опалубку для несущей колонны в подвале изготавливаем на месте из обрезков газобетона. Склеиваем из них коробочку, фиксируем струбцинами и заполняем бетоном.

3.14 Ряд за рядом склеиваются очередные коробочки. Колонна быстро растет, заодно решается вопрос утилизации отходов газобетона.

3.15 Для изготовления опорной промежуточной стенки в подвале в фундаментной плите по разметке сверлятся отверстия для закладки арматуры.

3.16 В подготовленные отверстия на значительную глубину забиваются вертикальные арматурные стержни, к которым подвязывается горизонтальная арматура.

3.17 Специальным крючком с трещоткой вязать арматуру очень легко и быстро, с этим справляется даже ребенок.

3.18 Арматурная решетка устанавливается строго по отвесу и закрепляется от смещения стяжками из проволоки и деревянными клиньями.

3.19 К установленным в торцах брускам, определяющим толщину стенки, попарно прибиваются доски опалубки, защищенные полиэтиленовой пленкой от соприкосновения с бетоном. Бетон укладывается между досками и трамбуется. Пленка предохраняет бетон от быстрого высыхания и обеспечивает гладкую поверхность стены.

3.20 В проемах к боковым сторонам гвоздями прибиваются опорные бруски для опалубки перемычек.

3.21 На опорных брусках устанавливаются деревянные кружала – горизонтальная опалубка из «сороковки».

3.22 Кружала соединяются с опорными брусками гвоздевым соединением через промежуточный брус. Так проще впоследствии производить распалубку.

3.23 С боков крепятся щиты, предохраняющие узкие блоки обкладки от смещения во время бетонирования. Кладка из узких блоков-«дощечек» завершает сооружение опалубки перемычек.

3.24 Все подготовительные работы завершены. Наступает черед укладки бетона. Готовим его самостоятельно в бетономесителе.

3.25 При выгрузке бетонной смеси из мешалки желательно иметь крепкого помощника – тачка может перевернуться.

3.26 Готовый бетон укладывается в несъемную опалубку по периметру стен. Блоки опалубки предварительно увлажняются для лучшего сцепления с бетоном.



3-18

3-20

3-21



3-19



3-24

3-22



3-23



3.27 Поверхность уложенного бетона выравняется на уровне верха блоков опалубки и тщательно заглаживается.

3.28 На фото видны резьбовые анкеры, замоноличенные в железобетонный пояс.

3.29 Железобетонный ригель в опалубке и промежуточный опорный столб.

3.30 Одна из железобетонных консолей висячего крыльца с замоноличенными резьбовыми анкерами.

3.31 Промежуточная стенка в подвале также полностью забетонирована. Ее верх выведен на одну отметку с верхом остальных стен.

Продолжение. Перекрытия

4.01 Строгание сосновых брусьев после просушки.

4.02 Строганный брус антисептируется.

4.03 При помощи блоков все балки будущего перекрытия поднимаются на стену.

4.04 Балки подняты.

4.05 На закладные резьбовые анкеры из оцинкованной шпильки М20 надеваются прокладки из рубероида и антисептированные балочные подушки.

4.06 В балках напротив шпилек сверлятся сквозные отверстия.

4.07 Насаженные на анкеры балки затягиваются гайками с широкой шайбой.

4.08 В другой части дома готовится опалубка железобетонного перекрытия.

4.09 После укладки арматуры перекрытие бетонируется.

4.10 В железобетонном перекрытии будущего санузла предусмотрены проемы для пропуска труб.

4.11 Дальнейшая кладка стен дома ведется обычным порядком. Каждый ряд кладки тщательно выравняется.

4.12 После выравнивания вся пыль сметается дочиста.

4.13 Стены быстро растут вверх.

4.14 Первый этаж почти закончен. Верх стен укрыт на зиму полосами рубероида.

Продолжение. Перекрытия

4.01 Строгание сосновых брусьев после просушки.

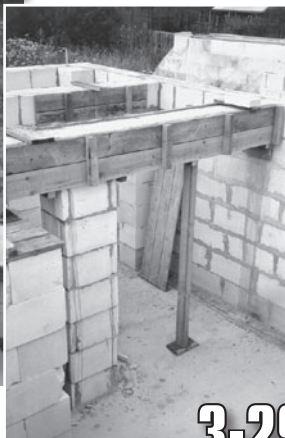
4.02 Строганный брус антисептируется.

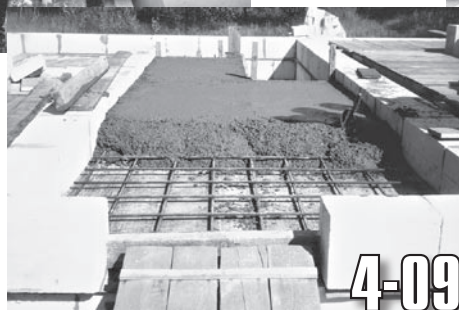
4.03 При помощи блоков все балки будущего перекрытия поднимаются на стену.

4.04 Балки подняты.

4.05 На закладные резьбовые анкеры из оцинкованной шпильки М20 надеваются прокладки из рубероида и антисептированные балочные подушки.

4.06 В балках напротив шпилек сверлятся сквозные отверстия.





4.07 Насаженные на анкеры балки затягиваются гайками с широкой шайбой.

4.08 В другой части дома готовится опалубка железобетонного перекрытия.

4.09 После укладки арматуры перекрытие бетонируется.

4.10 В железобетонном перекрытии будущего санузла предусмотрены проемы для пропуска труб.

4.11 Дальнейшая кладка стен дома ведется обычным порядком. Каждый ряд кладки тщательно выравнивается.

4.12 После выравнивания вся пыль сметается дочиста.

4.13 Стены быстро растут вверх.

4.14 Первый этаж почти закончен. Верх стен укрыт на зиму полосами рубероида.

Продолжение. Мезонин

5.01 В верхнем ряду кладки этажа снова устраивается монолитный железобетонный пояс с закладными резьбовыми шпильками. Антисептированные мауэрлаты укладываются на бетон с подкладкой из двух слоев рубероида.

5.02 Отверстия в брусках мауэрлатов сверлятся по месту. Брусья насаживаются на резьбовые шпильки и затягиваются гайками.

5.03 Балки перекрытия подняты на стены. Их концы дополнительно обрабатываются антисептиком.

5.04 На концах стоек каркаса выпиливаются шипы.

5.05 Грубые поверхности спилов легко зачищаются и выравниваются шлифмашиной с лепестковым диском.

5.06 В брусках нижней обвязки выдалбливаются гнезда для стоек каркаса.

5.07 В готовые гнезда нижней обвязки устанавливаются стойки каркаса, фиксируемые вертикально временными подкосами.

5.08 На установленные стойки насаживаются брусья верхней обвязки с готовыми гнездами.

5.09 Брусья туго насаживаются на шипы стоек с помощью тяжелого резинового молотка.

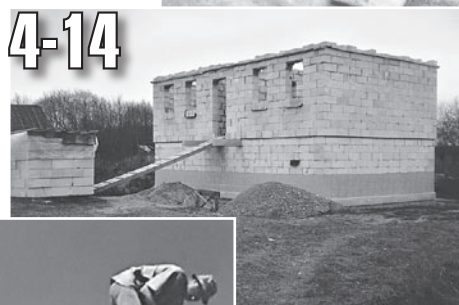
5.10 Все временные крепления удобно собирать с помощью быстрозажимных трубцин. Ни один помощник не сможет удерживать детали так надежно и долго.

5.11 С помощью больших трубцин можно выровнять каркасные стены по вертикали, стягивая или раздвигая верх противоположных стен.

5.12 Каркас мезонина почти готов. На балки перекрытия уложен временный ходовой настил из тонких досок.

5.13 Стропила для крыши мезонина готовы к установке. Их концы, которые останутся видимыми в будущей постройке, окрашиваются «Пинотексом».

5.14 Стропила мезонина установлены.





5-04



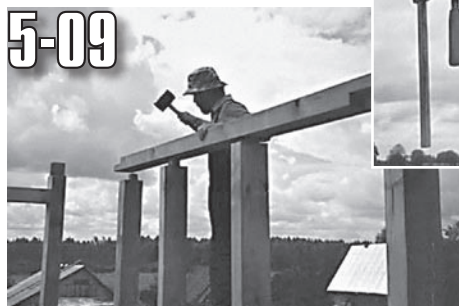
5-05



5-06



5-07



5-09



5-10



5-11

5-12



5-13



5-14



5-16



5-15



5-17



5-18







6-08



6-09



6-10



6-11



6-12



6-13

5.15 Коньковые брусья подтягиваются к внутренним вершинам установленных стропильных ног с вырезанными площадками и крепятся к ним «глухарями». Для уменьшения распора от свободно стоящих стропильных пар устанавливаются затяжки-ригели.

5.16 Концы прогонов тоже обработаны «Пинотексом» до установки.

5.17 Косая обшивка каркаса досками позволяет отказаться от установки брусковых подкосов и значительно экономит время и средства. Каркас с косой обшивкой превращается в своего рода ферму, очень прочную и жесткую.

5.18 Внутри будущей перегородки устроены дощатые подкосы, обеспечивающие поперечную устойчивость параллельных стен.

Продолжение. Крыша

6.01 Средние прогоны основной крыши одним концом опираются на небольшие каркасы фронтонных стен, а другим – на перекладины каркаса стен мезонина.

6.02 Стропила мезонина и средние прогоны установлены. Можно приступить к установке стропил основной крыши.

6.03 Для подъема стропил устанавливаются кран-балки из толстых досок, на которых монтируются веревочные тали.

6.04 Стропильные ноги подняты, установлены и закреплены.

6.05 Мощные брусья средних прогонов воспринимают основную нагрузку от снега и кровли.

6.06 Коньковые прогоны подтягиваются к установленным стропилам снизу и дополнительно крепятся к каркасу стены металлическим уголком.

6.07 Все стропильные конструкции дома готовы к укладке обрешетки.

6.08 Для монтажа опор навеса крыльца еще раньше в ходе кладки в стены были замоноличены резьбовые шпильки.

6.09 Опоры навеса монтируются на закладных резьбовых шпильках.

6.10 Для рулонной кровли на стропила укладывается сплошной настил из узких досок. Так как карнизы останутся неподшитыми, все видимые стороны досок предварительно покрываются «Пинотексом».

6.11 В обшивке основной крыши также применяются доски, обработанные с нижней стороны.

6.12 Перекрывающиеся крыши мезонина.

6.13 Все пять крыш обшиты и готовы к укладке рубероида. Постройка начинает быть похожей на дом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На этом мы заканчиваем второе издание первой российской книги о пенобетоне. Мы надеемся, что приведенная в книге информация окажется не только полезной для производителей, но и поможет развитию пенобетонной отрасли в России. Теперь есть от чего отталкиваться и что улучшать, поскольку в книге представлена максимально полная информация о пенобетоне, которую остается лишь дополнять и качественно улучшать. Мы не собираемся останавливаться на этой книге, и призываем к сотрудничеству авторов и фирмы, занимающиеся производством пенобетона и оборудования для него.

Предложения о сотрудничестве и любые замечания просим направлять по адресу: **ibeton@mail.ru**.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Производители пенообразователей для пенобетона

Наименование	Организация	Город	Телефон
Ареком-4	Строй-Бетон	Санкт-Петербург	(812) 926-30-09, 541-91-45
Биопор	Анкор плюс	Челябинск	(3512) 61-14-29, 78-07-06
Клей-канифольный- жидкостекольный пенообразователь	ЮВиС Технологии	Днепропетровск	+38 (056) 785-28-82, 238-68-61
ПБ-2000	Ивхимпром	Иваново	(0932) 38-41-84, 41-16-12
Пенообразователь	Технологии промышленного биосинтеза	Москва	(495) 912-6732
Аспент	ООО «Интерпром»	Днепропетровск	тел. (0562) 49-06-46 факс (0562) 34-22-37
Пенообразователь протеиновый	Фирма «Строительные товары»	Челябинск	(351) 771-90-16, 255-88-63
ПБ-20	Виктор -Ойл	Киев	(044) 5341783
Пеностром	СПО Щи	Щебекино, Белгородской обл.	(07248) 2-25-61, 4-17-37, 2-24-33
Пентапав-430 марки А	ПЕНТА	Москва СПб Тольяти	(495) 730-05-30, 730-05-10, (812) 324-60-51, 324-60-52, (8482) 20-38-04
ПО-ПБ-1	Завод синтетических продуктов	Новочеркасск	(86352) 9-74-39, 9-75-85
СДО-М	Технология	Нижний Новгород	(8312) 61-32-33, 91-50-97
ТЭАС-П	Союз	Харьков	(0572) 585-098, (050) 652-16-33
Esapon, Hostapur OSB	ЕвроХим 1	Москва Новосибирск	(495) 363 9621, (3832) 47 8335, 47 8175 (доб. 117)
SB 31L	ОДАКС	Санкт-Петербург	(812) 316 3925, 316 0435, 316 1193

Информация приводится по материалам сайта **www.ibeton.ru**

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.1

Государственный комитет Совета Министров РСФСР
по делам строительства (ГОССТРОЙ РСФСР)

Центральный комитет профсоюза рабочих строительства и промстройматериалов

Республиканский научно-исследовательский институт
местных строительных материалов ВСНХ (РОСНИИМС)

Всесоюзный научно-исследовательский институт новых строительных материалов
АСиС СССР (ВНИИНСМ)

Производство изделий из ячеистого силикатного бетона методом вибровспучивания

(доклад к семинару по обмену передовым опытом
в производстве и применении изделий из силикатобетона)

Москва, 1960 г.

к. т. н. **Левин С. Н.** (НИИжелезобетон)

к. т. н. **Меркин А. П.** (МИСИ им. Куйбышева)

За последнее время многими научно-исследовательскими организациями проведены значительные экспериментальные работы в области технологии ячеистых силикатных бетонов.

Общим для всех исследований является следующая технологическая схема изготовления образцов:

- а) помол кремнеземистого компонента и извести на шаровых или вибрационных мельницах;
- б) приготовление ячеистой массы из извести, кремнеземистого компонента, газообразователя, воды и добавок, стимулирующих скорость газовыделения и схватывания массы;
- в) приготовление растворной смеси в вертикальных газобетономешалках;
- г) формование изделий, выдержка их перед автоклавной обработкой, вызревание и срезка «горбушки», разрезка изделий;
- д) автоклавная обработка;
- е) распалубка изделий.

Однако принятая технология газосиликата при всей своей простоте страдает одним существенным недостатком: свежееизготовленная ячеистая масса имеет невысокую структурно-механическую прочность в процессе «вызревания», что препятствует созданию поточной линии производственного процесса.

Проведенная нами работа имела своей целью интенсифицировать процесс производства газосиликата, повысить прочность и стойкость, создать условия для организации поточной линии производства.

Как известно, решающее влияние на получение газосиликатных изделий заданных физико-механических свойств и объемного веса оказывают пластично-вязкие свойства известково-песчаных растворов для получения ячеистой массы. Такие растворные смеси представляют собой высококонцентрированные водные суспензии и относятся к пластичным дисперсным системам. При напряжении ниже предела текучести они испытывают только упругие деформации, а за пределом текучести обнаруживают остаточные (пластические) деформации.

Реологические свойства такой дисперсной системы характеризуются двумя физическими константами: предельным напряжением сдвига и коэффициентом пластической вязкости.

Если величина предельного напряжения сдвига больше, чем подъемная сила пузырьков газа, то раствор не вспучивается, если же коэффициент пластической вязкости слишком мал, происходит прорыв газов и масса оседает.

Таким образом, необходимо строгое соответствие газовыделения в растворной смеси с ее структурно механическими свойствами.

Решающим фактором, определяющим пластично-вязкие свойства растворных смесей, является водо/вяжущее отношение (отношение воды к весу всех сухих материалов). Для уменьшения предельного напряжения сдвига и обеспечения полного процесса вспучивания в смесь для ячеистого бетона вводится значительное количество воды. Так, для газосиликата водо/вяжущее отношение составляет 0.50–0.60. Огромный избыток воды, уменьшая предельное напряжение сдвига, вместе с тем понижает пластическую вязкость системы, от чего падает газодерживающая способность массы и происходит прорыв газа, что на производстве принято называть «кипением». Кроме того, избыток воды резко понижает структурную прочность ячеистой массы, в связи с чем необходима длительная выдержка изделий до автоклавной обработки. Время «вызревания» изделий до придания ячеистой массе прочности, достаточной для ее разрезки и транспортировки, должно составлять 6–12 часов. В это время, во избежание оседания массы и нарушения структуры, формы должны оберегаться от сотрясения и передвижения.

На первый взгляд, создается неразрешимая альтернатива: нельзя уменьшать водо/вяжущее отношение, ибо это лишит растворную смесь возможности вспучиваться, а с другой стороны, высокое содержание воды затворения не позволяет создать в производстве ячеистых бетонов какую бы то ни было линию формирования изделий.

В производстве обычных бетонных изделий, для того чтобы до минимума ограничить содержание воды, давно уже пришли к искусственному приему улучшения подвижности смеси. Таким приемом является вибрирование бетон-

ной смеси. При вибрировании резко уменьшается внутреннее трение в массе, отчего происходит мгновенная релаксация напряжений.

Вибрация, таким образом, имеет своим результатом превращение бетонной смеси в состояние разжижения, близкое к жидкому. Такое превращение бетонной смеси или раствора объясняется следующим. В обычном состоянии бетоны и растворы обладают структурой, обусловленной особыми свойствами воды затворения и силами молекулярного сцепления. Если привести бетонную смесь в состояние вибрации, то зерна смеси приходят в движение. При этом происходит разрушение структуры дисперсной системы, а вместе с ним и иммобилизация значительной части воды из сольватных оболочек. Это равносильно введению в смесь новых добавок воды. В бетонной смеси относительное движение зерен компонентов при вибрации приводит к тому, что равнодействующая их движения стремится расширить занимаемый смесью объем во всех направлениях, создавая активное давление, которое оказывает сопротивление внешнему давлению, собственному весу и силам сцепления частиц, заставляя зерна последовательно удаляться друг от друга на короткие промежутки времени. В обычной бетонной смеси между разошедшимися в разные стороны зернами вклиниваются вышележащие частицы, от чего общая плотность массы повышается.

Другая ситуация возникает при вибрировании растворной смеси для ячеистого бетона. Масса в момент вибрации испытывает внутреннее давление, вызываемое процессом газовыделения в смеси. Поэтому пустоты, образующиеся в вибрируемой смеси, заполняются пузырьками газа, стремящегося увеличить свой объем. Таким образом, если обычные бетонные смеси в результате вибрации, последовательно двигаясь вниз, уплотнятся, то при вибрировании раствора с газообразователем происходит вспучивание – масса движется вверх.

Процесс совмещения вспучивания ячеистого бетона с вибрацией назван нами вибровспучиванием.

Метод вибровспучивания имеет ряд качественных отличий от обычного процесса вспучивания:

1. Ускоряются реакции гидратации вяжущего. Ускорение реакции вызывается следующими причинами: при гашении извести вокруг ее частиц образуется диффузный слой, который препятствует обмену, а тем самым и дальнейшей гидратации. При вибрировании зерна раствора приходят в движение, отчего разрушается диффузионный слой, обнажаются непогасившиеся поверхности, поступают новые порции воды, слабо насыщенные гидратом окиси кальция. Ускорение гидратации и уменьшение водовяжущего отношения приводят к тому, что значительно быстрее растет температура в смеси. В свою очередь, как показали работы Ниббса, скорость реакции гидратации извести увеличивается вдвое при повышении температуры среды на каждые 10°C .

2. Несравнимо быстрее заканчивается процесс газовыделения. Более высокая температура смеси и непрерывный обмен продуктов взаимодействия чистой щелочью обуславливает окончание процесса газовыделения в течение 60–90 секунд.
3. Уменьшается трение вспучивающейся массы о стенки формы. В спокойной форме движение массы вверх тормозится боковыми стенками формы, и если отношение площади бортоснастки к свободной поверхности бетона велико, то наблюдается заметная кривизна поверхности массы, или, как обычно говорят, образуется «горбушка». Вибрация сопровождается наибольшим разжижением массы у стенок формы, поэтому сводится на нет «телескопический эффект» вспучивания, бетон в форме не имеет «горбушки», и при правильно подобранной высоте заливки раствора в форму можно довести до минимума образование излишков ячеистой массы.
4. Очень быстро нарастает структурная прочность массы. Большая скорость гидратации извести, уменьшенное водо-вяжущее отношение, высокая температура смеси, быстрое прекращение газовыделения, уплотнение стенок газовых пор за счет вибрации, – все это приводит к значительно более быстрому нарастанию структурной прочности ячеистой массы. В связи с этим появляется возможность намного сократить время «вызревания» изделий.
5. Происходит непрерывное перемещение газовых пузырьков, однако относительно высокая пластическая вязкость растворной смеси препятствует их объединению. Поэтому вибровспученные газосиликаты отличаются мелкой однородной структурой пор.

Разработка технологических параметров производства газосиликата методом вибровспучивания производилась в лабораториях НИИЖелезобетона Главмоспромстройматериалы и МИСИ им. Куйбышева, а также на Люберецком заводе силикатного кирпича.

В качестве исходных материалов применялась тонкомолотая известь-кипелка с удельной поверхностью от 5000 до 8000 см²/г активностью 55–90 %, песок Люберецкого карьера молотый до 2000-4000 см²/г, пудра алюминиевая ПАК-3, гипс двухводный.

Для лабораторных работ использовалась трехчастотная виброплощадка, одночастотная площадка Кузнецова-Десова, а для формования крупных изделий – 5-тонная вибрационная площадка и поверхностные вибраторы (как навесные) типа С-414.

В процессе исследования устанавливалось оптимальное водо/вяжущее отношение для различных значений объемного веса, температура воды затворения, продолжительность перемешивания, длительность и амплитуда вибрации, время выдержки образцов до автоклавной обработки. Необходимо отметить, что расход алюминиевой пудры принимался такой же, как и для обычного газосиликата

соответствующего объемного веса – 0,15% от веса сухих материалов для теплоизоляционного газосиликата с объемным весом 400–480 кг/м³ и 0,07% – для конструктивного газосиликата с объемным весом 650–750 кг/м³.

В предварительных опытах было установлено, что повышение активности массы до 20–22% заметно увеличивает прочность изделий. Дальнейшее увеличение активности требует высокой степени измельчения кремнеземистого компонента, и хотя при этом наблюдается некоторое повышение прочности, экономически это нецелесообразно. Поэтому работа проводилась на массе с активностью 20%.

Перемешивание молотых компонентов производилось в следующей последовательности: вначале готовился песчаник шлам, затем засыпалась известь или совместно измельченная известково-песчаная смесь состава 1:1; материалы перемешивались 2 мин., после введения алюминиевой суспензии смесь перемешивалась еще 1,5 минуты и заливалась в формы.

Для обеспечения минимальной длительности вспучивания необходимо, чтобы процесс вибрирования раствора совпадал с началом заметного газовыделения. Это достигается соответствующим подбором температуры растворной смеси в момент заливки.

Длительность вибрации, соответствующая продолжительности вспучивания, является одним из основных параметров производства. При обычном процессе производства газосиликата продолжительность вспучивания массы в каждом отдельном случае различно и колеблется в больших пределах.

Проведенное нами большое количество заливок больших и малых форм с применением вибрации на извести с различной скоростью гашения позволяет утверждать, что длительность вибровспучивания обычно колеблется в пределах 40–70 секунд. Так как скорость подъема массы в период вибровспучивания необычайно велика и достаточно ощутима зрительно, то по прекращении подъема (вспучивания) можно легко судить о необходимости прекращения вибрации.

При правильно рассчитанном объеме заливки смеси вибрация может быть прекращена по достижении ячеистой массой верха формы.

Одним из основных факторов, определяющих получение газосиликата методом вспучивания с высокими физико-механическими показателями, являются параметры вибрационных механизмов. Нами исследовалось влияние амплитуды колебаний и частоты вибрации на процесс производства и некоторые физико-механические свойства газосиликатных изделий.

Высокие частоты колебаний (до 12000 в мин.) особенно благоприятно действуют на тиксотропное разжижение мелкозернистых растворов, к которым и относятся используемые известково-песчаные смеси. Вместе с тем известно, что чем выше число колебаний дисперсных систем, содержащих воздух, тем большей степени его диспергирования можно достигнуть. Лабораторные испытания по вибровспучиванию газосиликатных кубов со стороной 10 см на трехчастотной виброплощадке показали следующее. Применение при вибров-

спучивании колебаний с частотой порядка 6000 и 7500 колебаний в минуту позволяет уменьшить расход воды затворения на 4–7 % по сравнению с расходом воды при частоте 3000 колебаний в мин. Визуально установлено, что при частоте вибрации 7500 в минуту размер пор меньше, а распределение их более равномерно, чем при вибрировании на обычной частоте.

Однако отсутствие условий формирования крупных изделий на этом этапе работы привело к тому, что основная часть исследований проводилась при частоте 2850–3000 колебаний в мин. Для выяснения влияния амплитуды вибрации на свойства газосиликатных изделий формировались образцы в разборных и сварных металлических формах в виде кубов со сторонами 10 и 20 см, а также изделия размером 50 x 60 x 15, 80 x 40 x 18, 120 x 60 x 40, 100 x 100 x 20 см.

Эксперименты показали, что при амплитуде вибрации 0,15–0,2 мм наблюдается удовлетворительная степень разжижения и однородная структура ячеистой массы у стенок формы, меньшая пористость и больший объемный вес в центре образце, при высоте его большей, чем 10 см.

При амплитуде вибрации 0,25–0,37 мм достигается оптимальная степень разжижения растворной смеси, изделия обладают однородной мелкопористой структурой по всему сечению, прочность образцов выше, чем при всех других амплитудах. При амплитуде 0,4–0,6 мм возможны всплески смеси с прорывами газа и оседанием вспученной массы в любой точке изделия при высоте его до 15 см и около стенок формы при высоте массы свыше 15 см. Такой ячеистый силикатобетон имеет неоднородную структуру и невысокую прочность. Амплитуда 0,7–0,8 мм приводит к повсеместным всплескам смеси, прорывам газа, расслоениям и оседанию массы, большей разнице в значениях объемного веса по высоте.

Таким образом, оптимальной амплитудой колебаний при частоте 2850–3000 колебаний в мин. следует считать 0,25–0,37 мм.

Как уже говорилось ранее, повышенная структурная прочность изделий, получаемых методом вибровспучивания, позволяет транспортировать, распаковать и разрезать изделия вскоре после окончания вспучивания без длительной выдержки до автоклавной обработки. Для проверки этого положения на Люберецком заводе силикатного кирпича формировались газосиликатные блоки размером 120 x 40, высотой 60 см и объемным весом 600–700 кг/м³.

Изделия изготавливались в форме для железобетонных фундаментных блоков с навешенными на борта поверхностными вибраторами типа С-414 мощностью 0,4 кВт.

Спустя 15 мин. после начала замеса материалов в мешалке производилась срезка «горбушки» блока, после чего сразу снималась бортоснастка и блоки на поддоне из листовой стали устанавливались на автоклавную вагонетку. При помощи электропередаточной тележки вагонетка с блоком подавалась в автоклав. Температура внутри блока к моменту начала тепловой обработки составляла 75–80 °С. Автоклавная обработка производилась по режиму, принятому для си-

№ п.п.	№№ проб и образцов	Объемный вес в воздушно-сухом состоянии, кг/м ³	Водопоглощение в % по весу	Предел прочности при сжатии после 50 циклов замораживания/оттаивания (кг/см ²)	Потеря в весе образцов по- сле испытания на морозостойкость, %	Описание внешнего вида образцов после испытания на морозостойкость
1	746-4	484	80.4	13.08	2.44	Без изменений
	746-5	475	83.8	12.9	3.34	Без изменений
	746-6	475	81.8	15.0	1.35	Без изменений
	среднее	477	81.8	13.66	2.37	
2	747-4	460	80.1	12.5	2.32	Без изменений
	747-5	442	95.8	9.6	7.80	Очень незначительное шелушение грани после 36-го цикла
	747-6	462	79.4	14.05	0	Без изменений
	среднее	453	85.1	12.1	3.37	
3	748-4	456	92.0	10.5	9.62	Шелушение 1 грани после 36-го цикла
	748-5	428	98.0	9.95	11.01	Шелушение 1 грани после 36-го цикла
	748-6	442	91.8	9.50	12.20	Шелушение 1 грани после 36-го цикла
	среднее	442	93.9	9.90	10.94	
4	749-4	482	89.20	14.20	4.17	Без изменения
	749-5	467	88.00	16.00	4.32	Без изменения
	749-6	476	88.00	13.80	7.05	Очень незначительное шелушение грани после 36-го цикла
	среднее	475	88.30	14.60	5.18	
5	751-4	480	80.00	13.20	6.45	Без изменения
	751-5	484	80.00	14.80	4.80	Без изменения
	751-6	481	76.00	18.60	3.38	Без изменения
	среднее	482	76.70	15.50	4.88	

Таблица 1

ликатного кирпича (1+7+1 час). Готовые изделия отличались мелкопористой однородной структурой, отсутствием трещин, незначительной разницей в значениях объемного веса изделий по высоте блока.

Проверка физико-механических показателей вибровспученного газосиликата производилась на кубах с размером сторон 10 см и показала, что его прочность во всех случаях превышает прочность обычного газосиликата при тех же значениях объемного веса. Морозостойкость вибровспученного газосиликата приведена в *таблице 1*.

Данные показывают, что применение вибровспучивания позволяет получать изделия из ячеистого силикатного бетона с высокой степенью морозостойкости даже при объемном весе, не превышающем 500 кг/м³.

Высокую морозостойкость вибровспученных газосиликатных изделий можно объяснить тем, что они характеризуются мелкими однородными пора-ми, с тонкими, но плотными (за счет вибрации раствора) стенками. Такая макроструктура изделий обеспечивает им высокую сопротивляемость разрушению при замораживании.

Выполненная работа позволяет сделать следующие предварительные выводы:

1. Получение газосиликатных изделий методом вибровспучивания значительно интенсифицирует процесс производства:

длительность вспучивания составляет – 40–70 сек.;

длительность «вызревания» до резки изделий – 15–40 мин.;

температура в изделиях к моменту резки – 60–80°С.;

автоклавная обработка (по расчетным формулам Новикова и кривым прогрева изделий) продолжается 12–14 час.

2. Вибровспученные газосиликатные изделия отличаются от изделий, полученных по обычной технологии:

однородной мелкопористой структурой;

высокими прочностными показателями;

высокими показателями морозостойкости;

снижением усадочных явлений как в процессе автоклавной обработки, так и после нее.

3. Применение вибровспучивания позволяет создать поточно-конвейерную линию производства крупноразмерных изделий из газосиликата и создает предпосылки для организации автоклавной обработки газосиликатных изделий на жестких поддонах без бортоснастки.

Научный редактор Г. Д. Копелянский
Отв. за выпуск М. А. Гашимов

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.2

Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР

Московский ордена Трудового Красного Знамени
инженерно-строительный институт им. В. В. Куйбышева

Доклады на XXI научно-исследовательской конференции

Вибровспученный газобетон (изготовление, макроструктура и технические свойства)

д. т. н. **Хигерович М. И.**,
д. х. н. проф. **Логтинов Г. И.**,
инж. **Меркин А. П.**,
аспирант **Филин А. И.**

Москва, 1962 г.

Предисловие

На кафедре строительных материалов Московского инженерно-строительного института им. В. В. Куйбышева в течение ряда лет ведутся работы по улучшению свойств газобетона и совершенствованию технологии крупноразмерных газобетонных изделий и конструкций для индустриального строительства.

Проф. Н. А. Попов показал, что ячеистые бетоны во многом подчиняются закономерностям, свойственным обычным бетонам, и выявил совместно с канд. техн. наук Е. А. Ерофеевой основные влияния реологических характеристик на свойства получаемого газобетона.

Проф. М. И. Хигерович и канд. техн. наук Х. М. Лейбович установили некоторые особенности действия воздухововлекающих и др. поверхностноактивных добавок на цементные системы и, в частности, на регулирование в них воздухоудержания путем вибрирования. В этих работах использовались основные принципы физико-химической механики, развиваемые П. А. Ребиндером, Н. В. Михайловым, Г. И. Логтиновым и др.

Учитывая отмеченные выше положения и ряд других опубликованных данных, инженер (*статья написана в 1961 г. — С.Р.*) А. П. Меркин разработал под руководством М. И. Хигеровича метод вибровспучивания газобетона и газосиликата, позволяющий интенсифицировать технологический процесс и улучшить качество изделий.

Кафедра строительных материалов в содружестве с НИИ Железобетоном при Мосгорисполкоме (канд. техн. наук С. Н. Левин, инж. Г. Я. Амханицкий) и работниками Люберецкого и Бутовского заводов силикатного кирпича, а так-

же Ижевского завода железобетонных изделий принимает участие в промышленном внедрении метода вибровспучивания.

Этот же способ положен в основу некоторых новых проектов для газобетонной промышленности. Одновременно углубляются соответствующие экспериментальные и теоретические исследования, причем изучение макроструктуры и ее влияния на технические свойства газобетона и газосиликата проводится кафедрой строительных материалов и кафедрой физики института на фотоэлектронной установке, созданной аспирантом А. П. Филиным под руководством проф. Г. И. Логгинова.

В настоящей брошюре приводится комплекс докладов на XXI научно-исследовательской конференции института, посвященных изготовлению, макроструктуре и техническим свойствам газобетона и газосиликата.

Московский инженерно-строительный институт им. В. В. Куйбышева просит работников строительной индустрии, которые будут применять способ вибровспучивания, а также методику количественного измерения пористости и распределения составляющих многокомпонентных систем с помощью фотоэлектронной установки, информировать о полученных результатах и сообщать свои замечания и пожелания по адресу:

Москва, Б-66, Спартаковская, 2, МИСИ им. В. В. Куйбышева, кафедра строительных материалов или кафедра физики.

Московский инженерно-строительный институт им. В. В. Куйбышева.
Доктор технических наук, профессор М. И. Хигерович, инженер А. П. Меркин.

Особенности изготовления газобетона и газосиликата способом вибровспучивания.

Газобетон и газосиликат относятся к числу наиболее эффективных и перспективных материалов для индустриального строительства. Однако существующая технология получения крупноразмерных газобетонных и газосиликатных изделий нуждается в серьезном усовершенствовании, так как период, протекающий от заливки массы в формы до момента, когда можно приступить к срезыванию «горбушки» и разрезке изделий обычно длится долго (не менее 4–5 часов), что не дает возможности осуществить поточное, конвейерное производство и затрудняет применение автоматического управления технологическим процессом.

Для совершенствования технологии газобетона и газосиликата и одновременного улучшения качества изделий предлагается применять метод вибровспучивания.

Сущность этого нового метода заключается в том, что газобетонная или газосиликатная смесь, в которую введено меньшее количество воды, чем обычно, и к которой добавлены поверхностно-активные вещества, подвергается

кратковременному вибрированию. При этом резко ускоряется процесс вспучивания – он заканчивается в среднем через 40–160 сек. вместо обычных 10–50 минут.

Благодаря уменьшению исходной дозировки воды и применению поверхностно-активных добавок структурная прочность массы после прекращения вибрирования очень быстро нарастает. Поэтому оказывается возможным во много раз сократить время выдерживания изделий до тепловой обработки.

Поскольку вибровспученные изделия, не нуждаясь в длительном выдерживании до распалубки, сохраняют к началу тепловой обработки температуру 65–70 °С и обладают повышенной прочностью структуры, то запаривание в автоклавах можно производить по сокращенному режиму. Усадочные деформации уменьшаются (по сравнению с обычной методикой изготовления газобетонов и газосиликатов) в значительной мере потому, что исходное количество воды снижено.

Уменьшается размер пор и становится более равномерным их распределение. Возрастает морозостойкость. Повышается коэффициент конструктивного качества. Значительно интенсифицируется технологический процесс, возникает возможность его автоматизации и одновременно существенно улучшается качество изделий [1, 2].

Общетеоретические положения метода вибровспучивания основываются главным образом на исследованиях Н. А. Попова и Е. Л. Ерофеевой, показавших, что реологические характеристики ячеистых бетонов во многом сказываются на их технических свойствах [3], на трудах П. А. Ребиндера и Н. В. Михайлова по ряду вопросов физико-химической механики [4, 5], а также на работах М. И. Хигеровича и Х. М. Лейбович по установлению влияния поверхностно-активных добавок и вибрирования на содержание воздуха в растворных и бетонных смесях [6].

Следует отметить, что метод вибрирования вообще применялся в технологии газобетонных изделий (например, К. Э. Горайновым, М. Г. Давидсоном, Е. Г. Григорьевым и В. П. Куприяновым), но не в процессе вспучивания, а исключительно при укладке уже вспученной массы в формы для ее уплотнения, т. е. для устранения «горбушки» и повышения прочности изделий [7].

Наши исследования по вибровспучиванию широко проводятся как на цементном, так и на известково-песчаном вяжущем [8].

Метод вибровспучивания проверен и дал положительные результаты в опытно-производственных условиях на Бутовском и Люберецком силикатных заводах (газосиликат) и на заводе сборного железобетона в г. Ижевске (газобетон) и внедряется в практику. Этот метод заложен в проекты реконструкции Люберецкого и Калининского заводов силикатного кирпича. Запроектирован передвижной завод вибровспученного газобетона.

В связи с этим промышленные предприятия и проектные организации нуждаются в уточнении ряда вопросов, связанных с производством вибровспученных изделий. Ниже приводятся практические рекомендации по наиболее важным вопросам технологии.

1. Методом вибровспучивания могут изготавливаться как теплоизоляционные изделия с объемным весом $250\text{--}500\text{ кг/м}^3$, так и конструктивные с объемным весом $650\text{--}1200\text{ кг/м}^3$. При этом используются те же исходные материалы и оборудование, что и при производстве газобетонных и газосиликатных изделий обычным способом. Добавочно требуется лишь вибрационное оборудование.

Вибровспученный ячеистый бетон готовят путем тщательного смешивания (желательно, в быстроходных вертикальных бетономешалках) вяжущего (извести-кипелки и цемента) с молотым песком (или другим тонкодисперсным минеральным материалом), порообразователем, водой, а иногда со специально вводимыми поверхностно-активными добавками. Вспучивание смеси производится при применении вибрирования.

Метод вибровспучивания пластично-вязких масс имеет достаточно универсальный характер и может применяться при получении пористых изделий не только из цемента и извести, но также из трепелов, глин (в том числе и при повышенных температурах), гипса, магнезиальных, шлаковых, зольных и др. неорганических и органических материалов. Во всех случаях вибровспучивание содействует уменьшению предельного напряжения сдвига и снижению количества задельной жидкости, благодаря чему возможны интенсификация технологического процесса, сокращение усадки и улучшение качества изделий.

2. Помолу подвергаются следующие компоненты: комовая негашеная известь, кварцевый песок и гипс. В зависимости от принятой технологической схемы производства, помол извести и песка производится либо совместно, либо раздельно. Предпочтителен совместный помол песка, имеющего карьерную влажность, и комовой извести в соотношении от $0,2:1$ до $1:1$ (по весу). Удельная поверхность смеси $5000\text{--}6000\text{ см}^2/\text{г}$ (по прибору ПСХ-2). Остальное количество песка, требующееся для получения ячеистой массы, подвергается измельчению до удельной поверхности $2000\text{--}2500\text{ см}^2/\text{г}$.

3. Для производства газосиликата и газобетона принимаются ориентировочные составы, приведенные в таблице 1. Приведенные здесь составы газосиликата и газобетона должны корректироваться в зависимости от конкретных условий производства. Возможна замена извести в составе газобетона едким натрием или калием из расчета $0,6\text{--}0,9\%$ от веса цемента.

4. Вода вводится в смесь, предназначенную для изготовления газобетона, в количестве $30\text{--}50\%$ от веса сухих компонентов, при этом количество воды

Вид ячеистого бетона	Заданный объемный вес в высушенном состоянии, в кг/м ³	Исходные соотношения цемент : известь : песок (от–до) по весу	Расход алюминиевой пудры в % от веса сухих компонентов
Газосиликат	410	0:1:2–0:1:3	0,100–0,150
	700	0:1:2,5–0:1:3,7	0,060–0,070
	1000	0:1:2,5– 0:1:3,7	0,020–0,031
	1200	0:1:2,8–0:1:3,9	0,012–0,015
Газобетон на смешанном вяжущем	400	1:1:3,4–1:1:3,7	0,110–0,150
	700	1:1:3,4–1:1:4,7	0,060–0,070
	1000	1:1:3,7–1:1:4,8	0,020–0,031
	1200	1:1:3,9–1:1:5,0	0,014–0,017
Газобетон	400	1:0,2:1–1:0,2:1,2	0,110–0,150
	700	1:0,15:1,2–1:0,15:1,9	0,060–0,070
	1000	1:0,15:1,5–1:0,15:2,2	0,022–0,032
	1200	1:0,15:1,7–1:0,15:2,4	0,014–0,017

Примечание:

Смешанным называется цементно-известковое вяжущее, в котором дозировка извести и цемента принимается примерно в равных весовых соотношениях.

Таблица 1. Ориентировочные составы газосиликата и газобетона, изготавливаемых методом вибровспучивания

затворения при вибровспучивании должно быть на 15–30 % меньшим, чем при изготовлении идентичных изделий по обычной технологии.

5. Применяемые при производстве вибровспученных газобетонов и газосиликатов пластифицирующие и гидрофобизирующие поверхностно-активные добавки вводятся в следующих дозировках:

сульфитно-спиртовая барда в количестве 0,1–0,15 % от веса сухих материалов;

мылонафт в количестве 0,07–0,12 %;

смесь мылонафта и сульфитно-спиртовой барды в количестве 0,07 % + + 0,1 % соответственно.

Могут применяться три способа введения пластифицирующих поверхностно-активных добавок:

- в мельницу при помоле песка для интенсификации процесса помола;
- в бачок при приготовлении алюминиево-водной суспензии с целью придания гидрофильных свойств непрокаленной алюминиевой пудре;
- с водой затворения непосредственно в газобетономешалку.

Во всех случаях применяется 5 % водный раствор поверхностно-активного вещества.

Толщина изделий в см	Подъем давления пара в автоклаве до максимального, в часах	Выдержка при максимальном давлении пара, в часах	Спуск давления пара и температуры в автоклаве до 40–60/589°С, в часах
до 20	1–2	4–7	1,5–2,0
от 20 до 30	2–3	4–7	2,5–4,0

Таблица 2. Ориентировочные режимы автоклавной обработки вибровспученных изделий при давлении пара 8 атм

6. Ячеистая смесь для производства вибровспученных газобетонов приготавливается в однобарабанных газобетономешалках со скоростью вращения не менее 90–120 об/мин. Сливные краны мешалки должны позволять разливать по формам ячеистую смесь повышенной вязкости. Подогревом воды затворения или песчаного шлама должна обеспечиваться температура ячеистого раствора в момент заливки в формы в пределах 38–42°С.

7. Виброплощадки, применяемые для вибровспучивания, должны иметь амплитуду колебаний в пределах 0,25–0,33 мм при частоте вибрации 2850–3000 кол/мин и 0,16–0,2 мм при частоте вибрации 6000 кол/мин и обеспечивать равномерное распределение амплитуды по всей длине и ширине стола виброплощадки. Повышение частоты вибрации улучшает качество готовых изделий.

Конструкция и регулирование виброплощадки должны обеспечивать стабильный режим ее работы. Нельзя применять виброплощадки, входящие в режим биения (как в процессе их работы, так и в период остановки).

8. Необходимо обеспечивать герметичность форм проклейкой их плотной бумагой (например, от цементных мешков), сополидом или жидким стеклом, установкой термостойких упругих прокладок, замазыванием цементным или гипсовым раствором.

9. По окончании заливки смеси в форму виброплощадка должна включаться на 5–7 сек. для равномерного распределения раствора в форме. Начало вибрирования смеси должно совпадать с началом активного газовыделения, что определяется визуально по образованию «горбушки» и наступает через 30–150 сек. с момента заливки смеси в форму (в зависимости от вида вяжущего, скорости гашения извести-кипелки, температуры помещения и др. условий). Смесь следует вибрировать до окончания процесса вспучивания, что совпадает с полным заполнением формы ячеистой массой. Продолжительность вибрирования должна составлять 40–160 сек.

Формы с вибровспученной ячеистой массой могут без специального выдерживания (обычно применяемого для «вызревания») направляться на авто-

клавную обработку через 10–25 мин. (газосиликат) или через 20–40 мин. (газобетон), считая с момента окончания перемешивания ячеистой смеси в газобетономешалке.

10. Автоклавная обработка производится при давлении насыщенного пара 8–12 атм. Ориентировочные циклы автоклавной обработки вибровспученных ячеистых бетонов при давлении пара 8 атм. приведены в *таблице 2*.

Литература.

1. Хигерович М. И., Меркин А. П. Интенсификация изготовления ячеистых бетонов путем применения вибрирования. МИСИ, М., 1961.
2. Хигерович М. И., Левин С. Н., Меркин А. П. Изготовление силикатных газобетонных изделий методом вибровспучивания. «Строительные материалы», 1961, № 9.
3. Ерофеева Е. А. Экспериментальные исследования возможности регулирования свойств газобетона. Диссертация. М, 1955.
4. Попов Н. А. Применение гидрофобизирующих добавок и вибродомола цемента для повышения эффективности легких бетонов и строительных растворов. Ст. в сб. «Труды кафедры строительных материалов» № 15. МИСИ, М., 1957.
5. Ребиндер П. А. Физико-химические представления о механизме схватывания и твердения минеральных вяжущих веществ. Труды совещания по химии цемента. Промстройиздат, М., 1956.
6. Михайлов Н. В. Основные принципы новой технологии бетона и железобетона. Госстройиздат, М., 1961.
7. Хигерович М. И., Лейбович Х. М. О влиянии добавок поверхностно-активных веществ на содержание воздуха в растворных и бетонных смесях. Информ. сообщения НИИЦемент, изд. НИИЦемент, М., 1954, вып. 20.
8. Хигерович М. И. Гидрофобный цемент и гидрофобнопластифицирующие добавки. Промстройиздат, М., 1957.
9. Девидсон М. Г., Горяинов К. Э., Григорьев Е. Г. Вибрированный газобетон. Бюллетень технической информации (по строительству) Главленинградстроя. 1959, № 1.
10. Горяинов К. Э., Девидсон М. Г., Григорьев Е. Г., Куприянов В. П. Авторское свидетельство № 109741.
11. Левин С. Н., Меркин А. П. Новая технология изготовления конструкций и деталей из газосиликата. Промышленность строительных материалов Москвы, 1961. № 10.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.3

Центральное бюро технической информации

Изготовление ячеистых бетонов способом вибровспучивания

Авторы брошюры

М. И. Хигерович

З. М. Матусевич

А. П. Меркин

Предисловие

Крупнопанельное и крупноблочное домостроение стало одним из важнейших путей в развитии новой техники индустриального строительства. Для изготовления крупных панелей служат преимущественно обычные (тяжелые) бетоны и легкие бетоны на пористых заполнителях; крупные блоки делаются из легких бетонов. Задача дальнейшего уменьшения веса зданий требует широкого развития производства особо легких ячеистых бетонов для изготовления сборных конструкций и деталей. Производство ячеистых бетонов в нашей стране должно быть доведено в 1965 г. до 15 млн. м³ в год. На предприятиях Пермского совнархоза должно быть выпущено в 1965 г. 250 тыс. кубометров ячеистых бетонов.

Как известно, изготовление крупноразмерных изделий из ячеистых бетонов связано с некоторыми трудностями технологического характера, к числу которых относится, в частности, длительная выдержка изделий во время вспучивания и особенно «вызревания».

Период, протекающий от момента заливки массы в формы до срезания «горбушки» и к разрезке изделий, обычно длится не менее 4–5 часов. Это обстоятельство, а также некоторые другие причины не дают пока возможности перейти на поточную технологию производства.

Способы, позволяющие резко сократить период выдержки изделий, могли бы стать одним из важнейших звеньев в создании новой высокопроизводительной технологии изготовления ячеистых бетонов. В связи с этим, по заданию управления промышленности строительных материалов Пермского совнархоза, кафедра строительных материалов Московского инженерно-строительного института им. В. В. Куйбышева провела научно-исследовательскую работу, целью которой было изыскание методов интенсификации некоторых производственных процессов изготовления ячеистых бетонов.

Эта работа, выполняемая в тесном контакте с управлением промышленно-сти строительных материалов Пермского совнархоза, уже привела к некоторым

новым, оригинальным решениям, из числа которых особо важным является способ вибровспучивания газобетонных масс, который заключается в следующем.

Газобетонная масса, включающая в свой состав около 0,15% органического пластификатора, готовится с относительно малой дозировкой воды – с таким ее количеством, которого явно недостаточно для обеспечения процесса вспучивания массы, если газобетон делают обычным способом. Однако благодаря применению вибрирования в период вспучивания и наличию пластификатора масса сильно разжижается, газовыделение происходит весьма интенсивно и масса увеличивается в объеме в соответствии с заданной величиной объемного веса изделий. По окончании процесса газовыделения, который при этом способе длится всего лишь 1–3 мин. вместо обычных 30–50 мин., вибрирование прекращается; естественно, что масса, изготовленная при малых значениях водовяжущего отношения, загустевает. Быстрому загустеванию уже вспученной массы способствует не только малое количество воды, но и особое «флокулирующее» действие пластификатора, содействующего образованию коагуляционных структур. Вместе с тем, и процессы схватывания ускоряются при ограниченном количестве воды в тесте.

В результате этого газобетонная и даже газосиликатная вспученная масса быстро приобретает настолько высокую структурную прочность, что позволяет без промедления приступить к срезанию «горбушки» и распалубке изделий. Поэтому общее время выдержки до автоклавной или иной тепловлажностной обработки удается сократить до 20–30 минут, вместо обычных 5–10 часов.

Применение способа вибровспучивания приводит также к улучшению качества изделий: ячеистый бетон становится более мелкопористым, уменьшается его водопоглощение и увеличивается морозостойкость.

В брошюре кратко освещаются предварительные результаты исследований способа вибровспучивания ячеистых бетонов, выполненных кафедрой строительных материалов МИСИ совместно с Управлением строительных материалов Пермского совнархоза.

В качестве исходных материалов для проведения опытов использовались песок, известь и цемент, вырабатываемые и добываемые на предприятиях Пермского совнархоза. Дальнейшее промышленное применение вышеуказанного метода предполагается осуществить на Березниковском заводе железобетонных конструкций № 4 в 1961 г.

Изготовление ячеистых бетонов способом вибровспучивания.

Применяемая в настоящее время технология производства ячеистых бетонов связана с необходимостью длительного выдерживания изделий в период вспучивания и «вызревания». С момента заливки массы в формы и до срезания «горбушки» обычно проходит не меньше 4–6 часов. В этот период должны соблюдаться все меры, предотвращающие сотрясение газобетонной массы в формах.

Все это значительно удлинит производственный цикл, требует больших производственных площадей в цехе, где происходит «вызревание» изделий. Таким образом, при ныне принятых способах производства ячеистых бетонов крайне затрудняется создание высокопроизводительных поточных линий на заводах. Вместе с тем сильно осложняется введение автоматического управления производственным процессом.

Основной причиной всех указанных затруднений технологического характера является своеобразие структурно-механических свойств газобетонной смеси в периоды ее вспучивания и «вызревания».

Газобетонная смесь, пока происходит ее вспучивание, должна иметь относительно малое предельное напряжение сдвига, иначе говоря, пластический сдвиг должен осуществляться достаточно легко. Это необходимо для того, чтобы процесс газообразования протекал наиболее полно, было обеспечено получение изделий с заданным объемным весом. В то же время газобетонная смесь должна характеризоваться такой пластической вязкостью, которая была бы достаточной для предотвращения прорыва пузырьков газа сквозь толщу массы, т. е. для создания достаточной газоудерживающей способности.

Простейший способ, позволяющий уменьшить предельное напряжение сдвига, – увеличение количества воды в смеси. Если в цементном тесте повысить водо/вяжущее отношение с 0,3 до 0,55, то предельное напряжение сдвига может снизиться, как было, например, в одном из опытов, с 3760 дин/см² до 104 дин/см², то есть увеличение дозировки воды на 85 % повлекло за собой уменьшение предельного напряжения сдвига почти в 40 раз. Одновременно с этим сильно падают значения пластической вязкости и, соответственно, уменьшается газоудерживающая способность теста. Увеличение водо-вяжущего отношения, помимо уменьшения газоудерживающей способности массы, приводит к тому, что процесс вспучивания замедляется, и сроки схватывания удлиняются. Все это вызывает ряд нежелательных последствий:

- может произойти значительная осадка массы, находящейся в форме;
- процесс «вызревания» требует большего времени;
- увеличивается продолжительность гидротермальной обработки;
- ухудшаются некоторые физико-механические свойства изделий.

Таким образом, в обычно практикуемом способе изготовления газобетонных масс, характеризующемся применением больших дозировок воды, заложено существенное противоречие. С одной стороны, некоторый избыток воды полезен, поскольку он нужен для процессов газообразования, а с другой – избыточная вода вредна, так как ослабляет удержание газа в массе и ухудшает ряд свойств готовых изделий.

Для преодоления такого противоречия, лежащего в существе классического способа получения газобетонов, надо изменить технологию так, чтобы можно

было уменьшить дозировку воды в газобетонной смеси, благодаря чему повышается ее пластическая вязкость, но при этом сохраняются достаточно низкие значения предельного напряжения сдвига.

Решение этой научно-технической задачи можно осуществить на основе современных положений коллоидной химии, а также исходя из развитых П. Л. Ребиндером и его школой представлений об образовании и устойчивости дисперсных систем и возникновении в них пространственных коагуляционных (тиксотропных) структур [1]. Используя тиксотропный характер цементно-известково-песчаного и известково-песчаного растворов и влияя на изменения этого свойства в нужных направлениях, можно значительно снизить значение предельного напряжения сдвига, вызвав тем самым переход относительно жесткой системы к состоянию временной повышенной текучести без увеличения количества воды. И одновременно с этим увеличить структурную прочность системы, когда она окажется в покое, после окончания процесса вспучивания. Как показали опыты, все это можно осуществить практически, если сочетать введение гидрофобизирующих поверхностно-активных добавок в раствор для ячеистой массы с его вибрированием в период газовыделения.

Гидрофобизирующие добавки типа мылонафта оказывают на цементные, известково-песчаные и подобные системы своеобразное смазочное действие, обусловленное слоистой структурой тонких ориентированных пленок. Это смазочное действие, вызывающее повышенную подвижность цементных и подобных систем, проявляется лишь под влиянием внешних механических факторов, например, перемешивания, вибрирования. Когда же система находится в покое, то сказывается влияние флокуляционного эффекта, вызываемого углеводородными цепями гидрофобизирующих добавок. Таким образом, гидрофобизирующие добавки, оказывая физико-химическое воздействие, могут существенно улучшить тиксотропные свойства системы [2].

Мощное воздействие на тиксотропные свойства цементного теста, строительного раствора или бетона, как известно, оказывает вибрирование. При вибрировании бетонной смеси ее частицы, получая колебательные импульсы, находятся в состоянии неустойчивого равновесия. При этом бетонная смесь или строительный раствор приобретают свойства «тяжелой» жидкости. Колебательные движения частиц приводят к ослаблению связей между ними, и структурная прочность растворов резко падает. Для сохранения состояния временной текучести необходимо лишь поддерживать состояние неустойчивого равновесия [3, 4]

Сочетая механическое действие вибрирования в период газовыделения с физико-химическим влиянием гидрофобизирующих добавок, можно вызвать существенное тиксотропное разжижение газобетонной массы, содержащей сравнительно небольшое количество воды, и получить быстро загустевающую массу после прекращения вибрирования.

Приведенные выше соображения общетеоретического характера, а также предварительные опыты привели к разработке метода вибровспучивания газобетонных смесей. Этот метод заключается в следующем. В момент, когда начинается заметное газовыделение, масса подвергается вибрированию, и система приобретает необходимые вязкостные характеристики. К концу реакции газовыделения прекращается вибрация, и высокая жесткость раствора обеспечивает его немедленное схватывание, что предотвращает прорыв газов и оседание массы.

В проведенных опытах применялись три вида вяжущих веществ:

- а) цемент;
- б) смесь из равных количеств цемента и извести-кипелки;
- в) молотая негашеная известь.

Применялся портландцемент марки 400 Ново-Пашийского завода. Известь быстрогасящаяся, активностью 68–85%. Песок Чашкинского месторождения (г. Березники), размолотый до удельной поверхности 2000–4000 см²/г (по ПСХ-2), пудра алюминиевая ПАК-3. В качестве поверхностно-активной добавки использовался мылонафт в количестве 0,15% от веса сухих компонентов (иногда он употреблялся в смеси с сульфитно-спиртовой бардой).

Технология подготовки и перемешивания компонентов не отличалась от принятой в производстве ячеистых бетонов. Опыты по вибровспучиванию проводились с помощью различных вибраторов:

- а) на стандартной лабораторной виброплощадке Кузнецова-Десова;
- б) на поличастотной виброплощадке с частотой колебаний 3000, 6000, 7500 и 12000 в минуту;
- в) на промышленной пятитонной виброплощадке;
- г) с помощью поверхностных вибраторов типа С-414, используемых как навесные. Исследования проводились в основном при частоте колебаний 3000 в минуту (50 гц).

Образцы для стандартных испытаний, а также изделия в виде фрагментов блоков и панелей формовались как в разборных, так и сварных металлических формах. Готовились образцы-кубы с длиной ребер 10 и 20 см. Фрагменты имели следующие размеры: 50х160х15 см, 80х40х18 см, 120х60х40 см, 100х100х20 см.

Изготовление блоков, имевших размеры 120 на 40 см при высоте 60 см, производилось в форме для фундаментных блоков, с применением двух боковых навесных вибраторов С-414 мощностью по 0,4 кВт. Остальные изделия формовались на виброплощадках разной грузоподъемности и возмущающей силы.

Опыты показали, что при изготовлении ячеистых бетонов методом вибровспучивания должны соблюдаться следующие технологические параметры:

1. Для быстрого прохождения реакции газовыделения необходима достаточно высокая щелочность раствора. Поэтому для изготовления ячеистого бетона к цементу нужно добавлять 10–15% извести-пушонки (от веса вяжущего).

2. Если в качестве вяжущего используется известь-кипелка с продолжительностью гашения более 15 мин., то известково-песчаный раствор до введения алюминиевой пудры должен перемешиваться на 1–1,5 мин. дольше, чем при применении быстрогасящейся извести.

3. От температуры раствора, которую он имеет к моменту заливки в формы, в значительной мере зависит скорость газовыделения, а соответственно, и длительность вибровспучивания. Опытами установлено, что при изготовлении газобетона температура раствора перед заливкой в формы должна составлять 48–52 °С для теплоизоляционных изделий и 45–48 °С для конструктивных. При этом температура воды затворения должна быть в пределах 53–58 °С. При получении газосиликата температура раствора должна поддерживаться в пределах 35–37 °С, а воды затворения – около 16–18 °С.

При изготовлении кубов с размером ребер 10 и 20 см температура воды затворения, соответственно, увеличивается на 2–3 °С вследствие большой теплоотдачи мелких изделий. Если температура помещения и форм ниже 18–20 °С, то раствор при изготовлении газобетона должен выдерживаться в форме до начала вибрации 2–3 мин., а при изготовлении газосиликата – около 1 мин.

4. Решающее влияние на получение ячеистого бетона с заданными физико-механическими свойствами имеют параметры вибрирования. Оптимальная амплитуда колебаний при частоте 2850–3000 в мин. – 0,25–0,37 мм при всех применяемых видах вяжущего. При амплитуде менее оптимальной наблюдалась недостаточная степень разжижения в центральной части образцов или изделий, поэтому пористость оказывалась различной в центральной и периферийных зонах изделия. При сравнительно большой амплитуде (например, 0,4–0,6 мм) возможно всплескивание раствора и прорыв газов у стенок формы. Если же амплитуда больше 0,8 мм, вспучивание раствора сопровождается повсеместными прорывами газов, всплескиванием раствора, расслоением и оседанием массы.

5. Процесс газовыделения при вибрировании идет настолько интенсивно, что время вибровспучивания для газобетонов можно ограничить 60–90 сек., а для газосиликата – 40–70 сек. При этом температура в массе может достигать до 60–65 °С при изготовлении газобетона и до 70–85 °С при получении газосиликата.

6. Относительно низкое водовяжущее отношение раствора, высокая температура массы, интенсивность процесса газообразования, повышенная плотность стенок пор, – все это при использовании метода вибровспучивания газобетонных масс, содержащих поверхностно-активные добавки, приводит к тому, что по окончании вибрирования быстро нарастает структурная прочность ячеистой массы. Это позволяет транспортировать, распалубовать и разрезать изделия без длительной их выдержки для «вызревания».

7. Экспериментами установлено, что срезку «горбушки» и разрезку изделий из ячеистого бетона можно производить примерно в следующие сроки. Если

Название материала	Способ вспучивания	Объемный вес кг/м ³	Прочность при сжатии кг/см ²	Коэффициент конструктивного качества	Оптимальное изменение коэф. конструктивного качества при способе вибровспучивания
Газобетон на смешанном вяжущем с поверхностно-активными добавками	обычный	780	52	6.65	1.00
	вибровспучиванием	765	69	9.00	1.35
	обычный	610	34	5.55	1.00
	вибровспучиванием	625	45	7.20	1.29
Газосиликат (на молотой негашеной извести)	обычный	800	78	9.73	1.00
	вибровспучиванием	795	86	10.08	1.11
	обычный	635	47	7.40	1.00
	вибровспучиванием	650	59	9.08	1.23
	обычный	455	14	3.08	1.00
	вибровспучиванием	445	19	4.27	1.39

Таблица 1. Объемный вес и прочность ячеистых бетонов при изготовлении обычным способом и методом вибровспучивания

изготавливается газобетон на смешанном вяжущем, то при размерах изделий 10х10х10 см – через 50 мин., а для крупноразмерных – через 35 мин. При изготовлении газосиликата на извести-кипелке эти сроки, соответственно, 35 мин. (для изделий размерами 10х10х10 см) и 8–12 мин. (для крупноразмерных).

После разрезки изделия необходимо немедленно транспортировать для тепловлажностной обработки. При этом, как показали исследования, относительно высокая температура изделий перед тепло-влажностной обработкой и сравнительно малое водо/вяжущее отношение позволяют значительно снизить продолжительность прогрева изделий в первый период запаривания и сократить цикл тепловой обработки в целом.

Одновременно с изучением технологических параметров производства ячеистых бетонов по методу вибровспучивания была проведена проверка свойств получаемых изделий.

В *таблице 1* приведены некоторые данные по определению объемного веса и прочности ячеистых бетонов, изготовленных по обычной технологии и методом вибровспучивания.

Как видно из данных *таблицы 1*, коэффициент конструктивного качества вибровспученных газобетонов и газосиликатов в среднем на 25–30 % выше, чем у изготовленных обычным способом.

Особенности изготовления образцов	Объемный вес в воздушно-сухом состоянии, кг/м ³	Водопоглощение (по объему), %	Потери в весе после испытания на морозостойкость, %	Прочность при сжатии кг/см ²		Коэффициент морозостойкости	Внешний вид образцов после испытания на морозостойкость
				До замораживания (в водонасыщенном состоянии)	После 50 циклов замораживания/оттаивания		
Раздельный сухой помол извести и песка. Активность массы 20 %	450	38,1	3,37	16,0	12,1	0,756	У одного образца незначительное разрушение грани после 36-го цикла
Совместный сухой помол извести и песка (1:1). Активность массы 17,5 %	485	42,0	5,18	21,1	14,6	0,700	Очень незначительное шелушение у одного образца после 36-го цикла
Совместный сухой помол извести и песка (1:1). Активность массы 25 %	455	41,7	4,88	15,7	15,5	0,987	Без изменений

Таблица 2. Морозостойкость теплоизоляционного вибровспученного газосиликата (50 циклов попеременного замораживания и оттаивания)

В *таблице 2* приведены данные, характеризующие морозостойкость образцов вибровспученного газосиликата при 50 циклах попеременного замораживания и оттаивания.

Данные таблицы показывают, что после 50 циклов замораживания и оттаивания вибровспученные образцы потеряли всего лишь 12–15 % первоначальной прочности. Между тем известно, что обычный газосиликат при объемном весе порядка 450 кг/м³ чаще всего выдерживает 7 циклов попеременного замораживания и оттаивания [5].

Таким образом, при получении изделий способом вибровспучивания их морозостойкость становится относительно более высокой, что объясняется улучшением структуры материала и, в частности, уменьшением размеров пор, повышением однородности их распределения в массе и уплотнением стенок.

Заключение.

Исследования метода получения ячеистых бетонов вибровспучиванием еще не закончены. Они продолжаются как в лабораториях, так и в полупро-

Изготовление ячеистых бетонов способом вибровспучивания

Длительность этапа технологического предела	Метод вибровспучивания (из опытных данных)	Обычный способ производства (по нормативным и др. данным)
Длительность вспучивания	40–90 сек	10–50 мин
Длительность вызревания до среза «горбушки»	8–25 мин	4–10 час
Длительность выдержки до распалубки перед автоклавной обработкой	15–40 мин	распалубовать нельзя
Общее время выдержки до автоклавной обработки	25–50 мин	4–12 час
Температура в изделиях к моменту автоклавной обработки	60–80 °С	25–35 °С
Длительность автоклавной обработки	12–14 час	18–20 час
Общий цикл производства от заливки до выгрузки готовых изделий из автоклава	13–14 час	25–30 час

Таблица 3

изводственных условиях, но имеющиеся данные, позволяют считать, что метод вибровспучивания систем, содержащих поверхностно-активные добавки, приводит к следующим отличиям от обычного способа получения ячеистых бетонов:

- уменьшается водо-вяжущее отношение;
- ускоряется гидратация извести;
- ускоряется процесс газовыделения;
- быстрее растет температура в газобетонной массе;
- уменьшается трение вспучиваемой массы о стенки формы (пристенное трение), в связи с чем уменьшается кривизна поверхности ячеистой массы – «горбушки»;
- очень быстро нарастает структурная прочность массы (по окончании вибрирования);
- в процессе вибрирования происходит непрерывное дробление пузырьков газа, что улучшает структуру изделий;
- благодаря этим отличиям можно применять новые, значительно более эффективные технологические параметры производства, как это видно из таблицы 3.
- вибровспученные изделия отличаются повышенной прочностью и значительной морозостойкостью.

Следует отметить, что процесс вибровспучивания можно применять в формах любых размеров на виброплощадках или при помощи навесных вибраторов.

Метод вибровспучивания газобетонных или газосиликатных смесей, содержащих добавки поверхностно-активных веществ, позволяет осуществлять поточно-конвейерное производство ячеистых бетонов.

Литература.

1. Ребиндер П. А. Физико-химические представления о механизме схватывания и твердения минеральных вяжущих веществ. Труды совещания по химии цемента. Промстройиздат, М., 1956 г.
2. Хигерович М. И. Гидрофобный цемент и гидрофобно-пластифицирующие добавки. Промстройиздат, М., 1957 г.
3. Десов А. Е. Вибрированный бетон. Госстройиздат, М., 1956 г.
4. Лермит Р. Проблемы технологии бетона. Госстройиздат, М., 1959 г.
5. Агриколянская Н. Я., Алексеев Г. Б., Доильницын П. К. Морозостойкий офактуренный газосиликат. «Главленстройматериалы», Л., 1960 г.

Тираж 1000 экз. Цена 5 коп.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

3.1 Составы бетона общестроительного назначения для тонкостенных густоармированных изделий и конструкций, малых архитектурных форм

(по материалам сайта www.ibeton.ru)

Класс бетона	Удобно-укладываемость бетонной смеси	Марка цемента	Ц/В	Расход компонентов в кг на приготовление 1м³ бетона				Пластифицирующая добавка	
				Цемент	Вода	Щебень	Песок	Класс эффективности	Расход, % от массы цемента
В 7,5	Ж2	300	1,16	200	160	1270	792	2	0,2
	П1	300	1,17	207	177	1189	818	2	0,2
	П3	300	1,18	240	203	1094	813	2	0,22
В 15	Ж2	300	1,83	295	161	1270	708	2	0,2
	П1	300	1,84	330	179	1189	707	2	0,22
	П3	300	1,86	381	205	1092	687	2	0,25
	Ж2	400	1,54	246	160	1270	753	2	0,2
	П1	400	1,55	274	177	1189	760	2	0,22
	П3	400	1,56	317	203	1094	747	2	0,25
В 20	Ж2	300	2,27	372	164	1265	639	2	0,22
	П1	300	2,28	410	180	1187	639	2	0,25
	П3	300	2,3	476	207	1090	603	2	0,27
	Ж2	400	1,89	304	161	1270	700	2	0,2
	П1	400	1,9	340	179	1188	700	2	0,22
	П3	400	1,92	394	205	1092	679	2	0,25
В 25	Ж2	400	2,24	367	164	1265	646	2	0,22
	П1	400	2,25	405	180	1187	643	2	0,25
	П3	400	2,27	470	207	1090	606	2	0,28
	Ж2	500	1,99	322	162	1267	685	2	0,22
	П1	500	2,0	360	180	1187	681	2	0,25
	П3	500	2,02	416	206	1092	654	2	0,28

окончание на стр. 598

Класс бетона	Удобно-укладываемость бетонной смеси	Марка цемента	Ц/В	Расход компонентов в кг на приготовление 1м³ бетона				Пластифицирующая добавка	
				Цемент	Вода	Щебень	Песок	Класс эффективности	Расход, % от массы цемента
В 30	Ж2	400	2,59	435	168	1255	583	2	0,28
	П1	400	2,6	481	185	1183	570	2	0,28
	П3	400	2,63	494	188	1100	630	1	0,6
	Ж2	500	2,29	376	164	1259	639	2	0,25
	П1	500	2,3	414	180	1180	643	2	0,25
	П3	500	2,33	436	187	1100	709	1	0,55
В 35	Ж2	400	2,94	509	175	1250	538	2	0,31
	П1	400	2,96	524	177	1189	549	1	0,65
	П3	400	2,99	562	188	1100	572	1	0,75
	Ж2	500	2,59	435	168	1254	583	2	0,27
	П1	500	2,6	455	175	1192	611	1	0,6
	П3	500	2,63	492	197	1100	634	1	0,65
В 40	Ж2	400	3,29	533	162	1270	501	1	0,7
	П1	400	3,31	596	180	1180	487	1	0,75
	Ж2	500	2,89	462	160	1270	568	1	0,65
	П1	500	2,91	515	177	1189	556	1	0,7
	П3	500	2,94	553	188	1100	579	1	0,75
В 45	Ж2	500	3,19	514	161	1270	520	1	0,7
	П1	500	3,21	571	178	1189	503	1	0,75
	П3	500	3,24	593	183	1106	553	1	0,85
	Ж2	600	2,86	458	160	1270	571	1	0,65
	П1	600	2,88	510	177	1189	561	1	0,7
	П3	600	2,91	547	188	1100	585	1	0,75
В 50	Ж2	600	3,12	161	502	1270	531	1	0,7
	П1	600	3,14	178	559	1189	516	1	0,75
	П3	600	3,17	183	580	1106	567	1	0,85

3.2 Составы бетона общестроительного назначения для обыкновенных мало- и среднеармированных изделий и конструкций

(по материалам сайта www.ibeton.ru)

Класс бетона	Удоб- укладываемость бетонной смеси	Марка цемента	Ц/В	Расход компонентов в кг на приготовление 1м³ бетона				Пластифицирующая добавка	
				Цемент	Вода	Щебень	Песок	Класс эффективности	Расход, % от массы цемента
В 7,5	Ж2	300	1,14	200	158	1332	737	2	0,2
	П1	300	1,15	200	174	1250	774	2	0,2
	П3	300	1,16	231	199	1156	774	2	0,22
В 15	Ж2	300	1,77	279	158	1322	669	2	0,2
	П1	300	1,78	312	175	1250	675	2	0,22
	П3	300	1,79	360	201	1153	658	2	0,25
	Ж2	400	1,49	235	158	1332	706	2	0,2
	П1	400	1,5	261	174	1250	721	2	0,22
	П3	400	1,51	300	199	1156	714	2	0,25
В 20	Ж2	300	2,19	350	160	1328	603	2	0,22
	П1	300	2,2	387	176	1245	613	2	0,25
	П3	300	2,22	451	203	1150	574	2	0,28
	Ж2	400	1,83	289	158	1332	660	2	0,2
	П1	400	1,84	322	175	1250	666	2	0,22
	П3	400	1,86	374	201	1153	646	2	0,25
В 25	Ж2	400	2,16	346	160	1328	612	2	0,22
	П1	400	2,17	382	176	1245	618	2	0,25
	П3	400	2,19	445	203	1150	585	2	0,28
	Ж2	500	1,93	305	158	1332	647	2	0,22
	П1	500	1,94	340	175	1250	651	2	0,25
	П3	500	1,96	394	201	1153	631	2	0,28
В 30	Ж2	400	2,5	408	163	1321	556	2	0,27
	П1	400	2,51	452	180	1238	555	2	0,27

окончание на стр. 600

Класс бетона	Удобно-укладываемость бетонной смеси	Марка цемента	Ц/В	Расход компонентов в кг на приготовление 1м³ бетона				Пластифицирующая добавка	
				Цемент	Вода	Щебень	Песок	Класс эффективности	Расход, % от массы цемента
В 30	ПЗ	400	2,53	466	184	1164	604	1	0,6
	Ж2	500	2,22	357	161	1327	600	2	0,25
	П1	500	2,23	390	175	1250	608	2	0,25
	ПЗ	500	2,25	414	184	1164	646	1	0,55
В 35	Ж2	400	2,83	473	167	1315	495	2	0,31
	П1	400	2,84	491	173	1252	524	1	0,6
	ПЗ	400	2,87	531	185	1164	542	1	0,7
	Ж2	500	2,51	412	164	1322	552	2	0,27
	П1	500	2,52	431	171	1253	581	1	0,55
	ПЗ	500	2,55	469	184	1164	601	1	0,6
В 40	Ж2	400	3,17	507	160	1328	468	1	0,7
	П1	400	3,18	553	174	1250	471	1	0,75
	ПЗ	400	3,21	587	183	1164	503	1	0,85
	Ж2	500	2,79	438	157	1332	535	1	0,65
	П1	500	2,8	482	172	1253	535	1	0,7
В 45	Ж2	500	3,08	487	158	1332	491	1	0,7
	П1	500	3,09	535	173	1250	489	1	0,75
	ПЗ	500	3,12	568	182	1168	516	1	0,8
	Ж2	600	2,76	433	157	1332	540	1	0,65
	П1	600	2,77	476	172	1253	540	1	0,7
	ПЗ	600	2,8	507	181	1168	571	1	0,75
В 50	Ж2	500	3,37	553	164	1320	429	1	0,75
	П1	500	3,38	598	177	1244	430	1	0,8
	Ж2	600	3,01	475	158	1332	501	1	0,7
	П1	600	3,02	522	173	1253	498	1	0,75
	ПЗ	600	3,05	555	182	1168	527	1	0,8
В60	Ж2	600	3,51	586	167	1315	398	1	0,85

3.3 Составы гидротехнического бетона для подводных сооружений, цемент тип II, III, IIIПЦ

(по материалам сайта www.ibeton.ru)

Класс по прочности при сжатии	Марка по водонепроницаемости	Марка по морозостойкости	Удобоукладываемость бетонной смеси	Марка цемента	Ц/В	Расход компонентов, кг/м³				Добавка	
						Цемент	Вода	Щебень	Песок	Вид	Расход, % массы цемента
B10	W2	—	Ж2	300	1,49	238	160	1267	758	2	0,2
			П1	300	1,49	264	177	1188	769	2	0,22
			П3	300	1,59	322	203	1092	745	2	0,25
			Ж2	400	1,49	238	160	1267	758	2	0,2
			П1	400	1,49	264	177	1188	769	2	0,22
			П3	400	1,59	322	203	1092	745	2	0,25
B15	W4	—	Ж2	300	1,83	295	161	1270	708	2	0,2
			П1	300	1,84	330	179	1189	707	2	0,22
			П3	300	1,89	387	204	1091	698	2	0,25
			Ж2	400	1,54	246	160	1270	753	2	0,22
			П1	400	1,71	302	177	1188	767	2	0,25
			П3	400	1,89	387	204	1091	698	2	0,28
B20	W4	—	Ж2	300	2,27	372	164	1265	639	2	0,22
			П1	300	2,28	410	180	1187	639	2	0,25
			П3	300	2,3	476	207	1090	603	2	0,28
			Ж2	400	1,89	304	161	1270	700	2	0,2
			П1	400	1,9	340	179	1188	700	2	0,22
			П3	400	1,92	394	205	1092	679	2	0,25
B20	W6	—	Ж2	300	2,27	372	164	1265	639	2	0,22
			П1	300	2,28	410	180	1187	639	2	0,25
			П3	300	2,3	476	207	1090	603	2	0,28

Класс по прочности при сжатии	Марка по водонепроницаемости	Марка по морозостойкости	Удобукладываемость бетонной смеси	Марка цемента	Ц/В	Расход компонентов, кг/м³				Добавка	
						Цемент	Вода	Щебень	Песок	Вид	Расход, % массы цемента
B20	W6	—	Ж2	400	1,89	304	161	1270	700	2	0,22
			П1	400	1,98	354	179	1187	706	2	0,25
			ПЗ	400	2,05	420	205	1091	689	2	0,28
B25	W8	—	Ж2	400	2,24	367	164	1265	646	2	0,22
			П1	400	2,25	405	180	1187	643	2	0,25
			ПЗ	400	2,4	496	207	1090	616	2	0,3
B25	W12	—	Ж2	400	2,6	418	161	1270	603	1	0,55
			П1	400	2,65	477	180	1187	582	1	0,6
			ПЗ	400	2,68	502	187	1100	635	1	0,65
B30	W12	--	Ж2	400	2,6	418	161	1270	603	1	0,5
			П1	400	2,65	477	178	1187	588	1	0,55
			ПЗ	400	2,68	502	187	1100	635	1	0,65
			Ж2	500	2,46	394	160	1270	626	1	0,5
			П1	500	2,61	465	178	1187	597	1	0,55
			ПЗ	500	2,64	493	187	1100	642	1	0,6
B30	W16	—	Ж2	400	3,01	488	162	1267	543	1	0,65
			П1	400	3,08	552	179	1187	519	1	0,7
			ПЗ	400	3,17	596	188	1100	545	1	0,75
			Ж2	500	2,93	472	161	1270	556	1	0,65
			П1	500	3,04	541	178	1187	532	1	0,7
			ПЗ	500	3,12	583	187	1100	557	1	0,75

3.4 Составы гидротехнического бетона для зоны переменного уровня воды, цемент тип I Д0

(по материалам сайта www.ibeton.ru)

Класс по прочности при сжатии	Марка по водонепроницаемости	Марка по морозостойкости	Удобукладываемость бетонной смеси	Марка цемента	Ц/В	Расход компонентов, кг/м³				Добавка	
						Цемент	Вода	Щебень	Песок	Вид	Расход, % массы цемента
В20	W4	F100	Ж2	400	1,89	304	161	1270	702	2	0,2
			П1	400	1,98	336	177	1189	711	2	0,22
			ПЗ	400	1,92	389	203	1094	693	2	0,25
В20	W6	F150	Ж2	400	1,89	304	161	1270	702	2	0,2
			П1	400	1,96	347	177	1190	717	2	0,22
			ПЗ	400	2,05	416	203	1093	697	2	0,25
В25	W6	F150	Ж2	400	2,24	363	162	1270	649	2	0,22
			П1	400	2,25	398	177	1190	657	2	0,25
			ПЗ	400	2,27	457	204	1092	636	2	0,28
В25	W8	F200	Ж2	400	2,24	363	162	1270	656	2	0,22
			П1	400	2,25	398	177	1190	657	2	0,25
			ПЗ	400	2,41	492	204	1092	600	2	0,3
В40	W16	F500	Ж2	500	3,05	486	159	1270	552	1	0,65
			П1	500	3,09	540	175	1195	535	1	0,7
			ПЗ	500	3,13	576	184	1104	571	1	0,8

3.5 Составы дорожного и аэродромного бетонов

(по материалам сайта www.ibeton.ru)

Класс по прочности при сжатии	Класс по прочности при осевом растяжении	Марка по морозостойкости	Марка по водонепроницаемости	Удобоукладываемость бетонной смеси	Вид цемента	Марка цемента	Ц/В	Расход компонентов, в кг на получение 1 м ³ бетона			Добавка
								Цемент	Вода	Щебень	Вид добавки
В 25	Bt 2	F 100	W 4	Ж2	Тип I (Д0)	400	2,16	346	160	1305	2
				П1	-- / --	400	2,18	379	174	1226	2
				П3	-- / --	400	2,4	480	200	1124	2
В 30	Bt 2,4	F 150	W 8	Ж2	-- / --	500	2,49	396	159	1308	2
				П1	-- / --	500	2,57	432	168	1243	1
				П3	-- / --	500	2J	488	180	1142	1
В 40	Bt 2,8	F 200	W 12	Ж2	-- / --	500	2,99	466	156	1315	1
				П1	-- / --	500	3,06	517	169	1243	1
				П3	-- / --	500	3,09	554	179	1143	1
В 50	Bt 3,2	F 300	W 16	Ж2	-- / --	500	3,37	543	161	1303	1
				П1	-- / --	500	3,38	581	172	1230	1

Примечания к Приложению 3.1–3.5

1. Пластификаторы 2-й группы эффективности:

- ЛСТ, ЛСТМ, ЛСТМ-2 (производятся большинством ЦБК России);
- УПБ, УПБ-М, УПСБ (производится НПК «Композит» г. Черновцы);
- другие (см. соответствующую нормативную документацию).

2. Пластификаторы 1-й группы эффективности (суперпластификаторы):

- С-3 (производство гг. Новосмоковск и Пермь, Россия);
- ПФМ-БС (производство НПК «Композит» г. Черновцы)
- «Дофен» (г. Дзержинск, Украина);
- НИЛ-20, НЛК, Окзил и др. (после лабораторного подтверждения заявленной эффективности).

3. Для ускорения твердения допускается вводить ускорители схватывания и твердения в соответствии с нормативной документацией, регламентирующей их применение.

4. При использовании фракций наполнителя, качества вяжущего, условий дозирования, приготовления и укладки бетона, отличных от предусмотренной стандартной методики, требуется перерасчет.

5. В приведенных таблицах принята насыпная плотность щебня в стандартном сосуде $1,4 \text{ г/см}^3$, а в цилиндре диаметром 2,54 см – $1,34 \text{ г/см}^3$, средняя плотность песка 2,64, щебня – $2,73 \text{ г/см}^3$, объем вовлеченного воздуха 10 л/м^3 .

6. Рабочие составы бетона определяются экспериментально и корректируются на гранулометрический состав и влажность заполнителей

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ № 78-54

на изготовление теплоизоляционных
и конструкционно-теплоизоляционных изделий из неавтоклавного пенобетона

Санкт-Петербург 2004

Содержание:

1. Введение
2. Требования к теплоизоляционному и конструкционно-теплоизоляционному безавтоклавному пенобетону
3. Сырьевые материалы и составы пенобетона
4. Номенклатура продукции
5. Технологическая схема производства
6. Входной контроль материалов
7. Контроль технологического процесса
8. Технологический процесс изготовления изделий из пенобетона
9. Требования к технике безопасности

1. Введение

1. Настоящие технические условия разработаны для пенобетона, получаемого на оборудовании Фомм-Проф, производимом ООО «Строй-Бетон». В настоящих технических условиях оговаривается способ и процесс получения пенобетона, требования к сырью, из которого производится пенобетон, номенклатура получаемой продукции и способы контроля качества.

2. Настоящие технические условия разработаны для руководства при изготовлении в заводских условиях армированных и неармированных изделий и конструкций из пенобетона.

3. Изделия должны удовлетворять требованиям соответствующих стандартов и рабочих чертежей. Испытание пенобетона должно производиться по ГОСТ 10180-90.

4. Изготовление изделий должно производиться по утвержденным в установленном порядке технологическим картам, составленным применительно к условиям конкретного производства, сырья и вида изделий.

5. При изготовлении изделий следует соблюдать правила техники безопасности и производственной санитарии на предприятиях ячеистого бетона, а также правила противопожарной безопасности.

2. Требования к теплоизоляционному и конструкционно-теплоизоляционному безавтоклавному пенобетону:

1. Прочность автоклавного и неавтоклавного бетонов характеризуют классами по прочности на сжатие в соответствии со СТ СЭВ 1406.

2. Для бетонов установлены следующие классы: B0,5, B0,75, B1, B1,5, B2, B2,5, B3,5, B5, B7,5, B10, B12,5, B15.

3. Для конструкций, запроектированных без учета требований СТ СЭВ 1406, показатели прочности бетона на сжатие характеризуются марками: M7,5, M10, M15, M25, M35, M50, M75, M100, M150, M200.

4. По показателям средней плотности назначают следующие марки бетонов в сухом состоянии: D300, D350, D400, D500, D600, D700, D800, D900, D1000, D1100, D1200.

5. Для бетонов конструкций, подвергающихся попеременному замораживанию и оттаиванию, назначают и контролируют следующие марки бетона по морозостойкости: F15, F25, F35, F50, F75, F100.

6. Назначение марки бетона по морозостойкости проводят в зависимости от режима эксплуатации конструкции и расчетных зимних температур наружного воздуха в районах строительства.

7. Показатели физико-механических свойств бетонов приведены в *таблице 1*.

8. Усадка при высыхании бетонов, определяемая по *приложению 2*, не должна превышать мм/м: 3,0 – для неавтоклавных бетонов марок D600-D1200.

Примечание. Для неавтоклавных бетонов по средней плотности D400 и D500 усадка при высыхании не нормируется.

9. Коэффициенты теплопроводности бетонов не должны превышать значений, приведенных в *таблице 2* более чем на 20%.

10. Отпускная влажность бетонов изделий и конструкций не должна превышать (по массе), %: 25 – на основе песка; 35 – на основе зол и других отходов производства.

11. В стандартах или технических условиях на конструкции конкретных видов устанавливают показатели сорбционной влажности и паропроницаемости, приведенные в *таблице 2*, и другие показатели, предусмотренные ГОСТ 4.212.

Кроме того, при изучении новых свойств бетонов и для данных, необходимых при нормировании расчетных характеристик бетонов, качество бетона характеризуют призменной прочностью, модулем упругости, прочностью при растяжении.

Вид бетона	Марка бетона по средней плотности	Бетон неавтоклавный	
		класс по прочности на сжатие	марка по морозостойкости
Теплоизоляционный	D300	—	—
	D350		
	D400	B0,75 B0,5	Не нормируется
	D500	B1 B0,75	
Конструкционно- теплоизоляционный	D500	—	—
	D600	B2 B1	От F15 до F35
	D700	B2,5 B2	От F15 до F50
Конструкционно- теплоизоляционный		B1,5	
	D800	B3,5 B2,5 B2	От F15 до F75
	D900	B5 B3,5 B2,5	
Конструкционный	D1000	B7,5 B5	От F15 до F50
	D1100	B10 B7,5	
	D1200	B12,5 B10	

Таблица 1 Показатели физико-механических свойств бетонов

3. Сырьевые материалы и составы пенобетона

1. Перечень используемых материалов:

- 1.1. портландцемент – по ГОСТ 10178 (не содержащий добавок трепела, глиежа, трассов, глиниста, опоки, пеплов), содержащий трехкальциевый алюминат (C_3A) не более 6%, для изготовления крупноразмерных конструкций на цементном или смешанном вяжущем;
- 1.2. известь негашеная кальциевая – по ГОСТ 9179, быстро- и среднегасящаяся, имеющая скорость гашения 5–25 мин и содержащая активные $CaO + MgO$ более 70 %, «пережога» менее 2 %;
- 1.3. шлак доменный гранулированный – по ГОСТ 3476;
- 1.4. зола высокоосновная – по ГОСТ 21-60, содержащая CaO не менее 40 %, в том числе свободную CaO не менее 16 %, SO_3 не более 6 % и R_2O не более 3,5 %;

Вид бетона	Марка бетона по средней плотности	Коэффициент		Сорбционная влажность бетона, % не более					
		теплопроводности, Вт/(м·°С), не более, бетона в сухом состоянии, изготовленного	паропроницаемости, мг/(м·ч·Па), не менее, бетона, изготовленного	при относительной влажности воздуха 75 %				при относительной влажности воздуха 97 %	
				Бетон, изготовленный					
				Бетон, изготовленный					
		на песке	на золе	на песке	на золе	на песке	на золе	на песке	на золе
Теплоизолирующий	D300	0,08	0,08	0,26	0,23	8	12	12	18
	D400	0,10	0,09	0,23	0,20	8	12	12	18
	D500	0,12	0,10	0,20	0,18	8	12	12	18
Конструкционно-теплоизолирующий	D500	0,12	0,10	0,20	0,18	8	12	12	18
	D600	0,14	0,13	0,17	0,16	8	12	12	18
	D700	0,18	0,15	0,15	0,14	8	12	12	18
	D800	0,21	0,18	0,14	0,12	10	15	15	22
	D900	0,24	0,20	0,12	0,11	10	15	15	22
Конструкционный	D1000	0,29	0,23	0,11	0,10	10	15	15	22
	D1100	0,34	0,26	0,10	0,09	10	15	15	22
	D1200	0,38	0,29	0,10	0,08	10	15	15	22

Таблица 2. Нормируемые показатели физико-технических свойств бетонов

Вид вяжущего	Содержание компонентов в вяжущем, %						
	портландцемент	известь-кипелка	доменный гранулированный шлак	щелочной компонент	камень гипсовый двуводный или гипс полуводный	двухвалцевый силикат	высокоосновная зола
Цементное	95–100	0–5	–	–	–	–	–
Известковое	–	95	–	–	5	–	–
Цементно-известковое	60–50	35–45	–	–	2–5	–	–
Известково-цементное	12–35	60–85	–	–	3–5	–	–
Известково-шлаковое	–	12–15	80–85	–	3–5	–	–
Шлако-щелочное	–	–	90–92	8–10	–	–	–
Известково-белитовое	–	35–45	–	–	–	не менее 30	–
Высокоосновное зольное	–	0–10	–	–	–	–	90–100

Таблица 3

1.5. песок – по ГОСТ 8736, содержащий SiO_2 (общий) не менее 90 % или кварца не менее 75 %, слюды не более 0,5 %, илистых и глинистых примесей не более 3 %;

1.6. зола-унос ТЭС – по ГОСТ 21-60, содержащая SiO_2 не менее 45 %, CaO не более 10 %, R_2O не более 3 %, SO_3 не более 3 %;

1.7. продукты обогащения руд, содержащие SiO_2 не менее 60 %.

2. Удельную поверхность применяемых материалов принимают по технологической документации, в зависимости от требуемой средней плотности, тепловлажностной обработки и размеров конструкции.

3. Допускается применять другие материалы, обеспечивающие получение бетона, отвечающего заданным физико-техническим характеристикам, установленным настоящим стандартом.

4. Для производства пенобетона применяются пенообразователи на основе:

4.1. нефтяных сульфокислот;

4.2. костного клея – по ГОСТ 2067;

4.3. мездрового клея – по ГОСТ 3252;

4.4. сосновой канифоли – по ГОСТ 19113;

4.5. едкого технического натра – по ГОСТ 2263;

4.6. скрубберной пасты – по ТУ 38-107101 и другие пенообразователи.

5. Вода для приготовления бетонов – по ГОСТ 23732.

6. В зависимости от вида исходного сырья состав вяжущих для приготовления ячеистого бетона следует назначать по *таблице 3*.

7. Кислая зола-унос ТЭС с электрофильтров от сжигания углей должна иметь стекловидных и оплавленных частиц не менее 50%; потери при прокаливании должны быть не более 3% для золы бурых углей и не более 5% для золы каменных углей. Удельная поверхность зол бурого угля должна быть не менее 4000 см²/г и не более 5000 см²/г – для каменноугольных. Зола должна выдерживать испытания на равномерность изменения объема.

4. Номенклатура продукции

1. Изделия из ячеистых бетонов теплоизоляционные – по ГОСТ 5742.

2. Блоки из ячеистых бетонов стеновые мелкие – по ГОСТ 21520.

Настоящий стандарт распространяется на теплоизоляционные изделия из ячеистых бетонов автоклавного и безавтоклавного твердения.

Изделия предназначены для утепления строительных конструкций и тепловой изоляции промышленного оборудования при температуре изолируемой поверхности до 400 °С.

Применение изделий в условиях агрессивной среды и при наличии относительной влажности воздуха помещения более 75% должно производиться с нанесением на их поверхности защитного покрытия, указанного в рабочих чертежах.

1. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И РАЗМЕРЫ

1.1. Изделия в зависимости от плотности (объемной массы) подразделяют на марки 350 и 400, условно обозначаемые А и Б.

1.2. Размеры изделий должны быть:

- длина от 500 до 1000 мм
- ширина 400, 500 и 600 мм
- толщина от 80 до 240 мм

Размеры по длине должны быть кратными 100, по толщине – 20.

1.3. Условное обозначение изделий должно состоять из буквенного обозначения и размеров по длине, ширине и толщине в сантиметрах, разделяемых точками.

Пример условного обозначения изделия марки 350, длиной 100, шириной 50 и толщиной 8 см: А-100.50.8.

То же, марки 400, длиной 80, шириной 40 и толщиной 16 см: Б-80.40.16.

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

2.1. Изделия должны изготавливаться в соответствии с требованиями настоящего стандарта.

2.2. Материалы, применяемые для изготовления изделий, должны соответствовать требованиям стандартов или технических условий.

Наименование показателя	Норма для изделий марки	
	350	400
1. Плотность, кг/м ³ , не более	350	400
2. Предел прочности при сжатии, МПа (кг/см ²), не менее, изделий:		
а) высшей категории качества	0,8 (8)	—
б) первой категории качества	0,7 (7)	1 (10)
3. Предел прочности при изгибе, МПа (кгс/см ²), не менее, изделий:		
а) высшей категории качества	0,3 (3)	—
б) первой категории качества	0,2 (2)	0,3 (3)
4. Теплопроводность в сухом состоянии при температуре (25±5)°C [(298±5)K], Вт/(м•К) [ккал/(м•ч•°C)], не более	0,093 (0,080)	0,104 (0,090)
5. Относительная влажность по объему, %, не более	10	10

Таблица 4

2.3. Предельные отклонения от размеров изделий высшей категории качества не должны превышать по длине и ширине ± 3 мм, по толщине ± 2 мм, изделий первой категории качества соответственно ± 5 и ± 4 мм.

2.4. Физико-механические показатели теплоизоляционных изделий должны соответствовать требованиям, указанным в *таблице 4*.

Изделия должны иметь правильную геометрическую форму. Отклонение от перпендикулярности граней и ребер не должно превышать 5 мм на каждый метр грани.

2.6. В изломе изделия должны иметь однородную структуру, без расслоений, пустот, трещин и посторонних включений.

2.7. В изделиях не допускаются:

а) отбитости и притупленности углов и ребер длиной более 25 мм и глубиной более 7 мм – для изделий высшей категории качества и глубиной более 10 мм – для изделий первой категории качества;

б) искривление плоскости и ребер более 3 мм – для изделий высшей категории качества и более 5 мм – для изделий первой категории качества.

2.8. В партии изделий первой категории качества количество половинчатых изделий не должно превышать 5%.

Партия изделий высшей категории качества должна состоять только из целых изделий.

3. ПРАВИЛА ПРИЕМКИ

3.1. Изделия должны быть приняты технологическим контролем предприятия-изготовителя.

3.2. Приемку и поставку изделий производят партиями. Партия должна состоять из изделий, изготовленных по одной технологии и из материалов одного вида и качества.

3.3. Размер партии устанавливают в количестве сменной выработки предприятия-изготовителя, но не более 50 м³.

3.4. Основные размеры изделий, требования к внешнему виду, плотность, предел прочности при сжатии, влажность и однородность структуры определяют для каждой партии изделий; определение предела прочности на изгиб и теплопроводности проводят два раза в год.

3.5. Потребитель имеет право производить выборочную контрольную проверку соответствия изделий требованиям настоящего стандарта, применяя при этом указанные ниже порядок отбора образцов и методы их проверки.

3.6. Для проверки внешнего вида, однородности структуры, формы и размеров от каждой партии отбирают образцы в количестве 2 % от партии, но не менее 10 шт.

3.7. Из числа изделий, удовлетворяющих требованиям стандарта по внешнему виду, форме и размерам, отбирают одно изделие для определения плотности, прочности при сжатии и изгибе.

3.8. При неудовлетворительных результатах контроля хотя бы по одному из показателей проводят повторную проверку по этому показателю удвоенного количества образцов, взятых от той же партии.

При неудовлетворительных результатах повторного контроля партия изделий приемке не подлежит.

Если при проверке изделий, которым в установленном порядке присвоен государственный Знак качества, окажется, что изделия не удовлетворяют требованиям настоящего стандарта хотя бы по одному показателю, то изделия приемке по высшей категории не подлежат.

5. Технологическая схема производства

Производство пенобетона разделяется на 4 технологических участка:

1. Участок хранения компонентов

На данном участке организуется хранение цемента, песка и добавок. В месте хранения цемента не должно быть избыточной влажности, т.к. это ухудшает его свойства.

2. Участок производства пенобетонной массы

Здесь размещается установка для производства пенобетона. В нее либо ручным способом, либо с помощью шнеков и конвейеров подаются компоненты и производится пенобетонная масса, которая подается по шлангу на участок формования.

3. Участок формования изделий

Подаваемая по шлангу пенобетонная масса разливается в формы. После заливки образовавшаяся верхняя «горбушка» выравнивается шпателем. После достижения распалубочной прочности формы разбираются и укладываются на европоддон, который отвозится на участок хранения и отгрузки.

4. Участок хранения готовой продукции и ее выгрузки

Получаемые на участке хранения поддоны с готовыми блоками обматываются упаковочной пленкой и обвязываются закрепляющей лентой. На местах углов блоков подкладываются уголки, чтобы избежать растрескивания углов готовых изделий.

6. Входной контроль материалов

1. Портландцемент, шлакопортландцемент марки М400 с содержанием трехкальциевого силиката не менее 50 % и трехкальциевого алюмината не более 6 %. Начало схватывания должно наступать не позднее 2 ч, а конец схватывания – не позднее 4 ч после затворения. Удельная поверхность цемента должна быть 2500–3000 см²/г для конструктивно-теплоизоляционного и 3000–4000 см²/г для теплоизоляционного ячеистого бетона. По остальным свойствам цемент должен удовлетворять требованиям ГОСТ 10178-76. Не допускается применения цемента с добавкой трепела, глиежа, трассов, глиниста, опоки, пепла.

2. Известь-кипелка кальциевая не ниже 3-го сорта (см. *рис. 1*), удовлетворяющая требованиям ГОСТ 9179-77, а также дополнительным требованиям: содержание активных СаО+MgO должно быть не менее 70 %, «пережога» не более 2 %, скорость гашения 5–15 мин. Тонкость помола извести должна быть с удельной поверхностью 5500–6000 см²/г, определенная по прибору ИСХ.

3. Цементно-известковое (известково-цементное) на основе цемента, удовлетворяющего требованиям *п. 2.1а* и извести – *п. 2.1б*. Соотношение между цементом и известью устанавливают экспериментально, исходя из соотношения, приведенного в *п. 4.2* настоящей Инструкции.

4. Известково-белитовое с содержанием свободной СаО 35–45 % и двухкальциевого силиката не менее 30 %. Удельная поверхность должна быть 4000–5000 см²/г. Время гидратации вяжущего – 8–20 мин.

5. Шлак доменный гранулированный совместно с активизаторами твердения или в составе смешанного вяжущего. Шлак должен удовлетворять требованиям ГОСТ 3476-74, а также дополнительно не содержать закиси марганца более 1,5 %, сульфидной серы более 0,1 %; модуль активности для основного и нейтрального шлака должен быть не менее 0,4 и модуль основности не менее 0,9. Для помола пригоден гранулированный шлак, не содержащий плотных камневидных кусков и посторонних примесей. Влажность при поступлении на

Внесена НИИЖБом Госстроя СССР	Утверждена Постановлением Государственного комитета СССР по делам строительства от 7 февраля 1980 г. ¹⁹	Срок введения в действие с 1 июля 1980 г.
-------------------------------------	--	---

Рис. 1

склад не должна превышать 15 %. Удельная поверхность смешанного вяжущего на основе извести и шлака должна быть не менее 5000 см²/г.

6. Шлакощелочное, содержащее молотый гранулированный шлак, отвечающий требованиям п. 2.1*д* и едкую щелочь, удовлетворяющую ГОСТ 2263-71*. Допускается взамен едкой щелочи применять щелочной плав. Количество едкой щелочи (Na₂O или K₂O) или щелочного плава в шлакощелочном вяжущем устанавливают путем подбора состава.

7. Высокоосновное зольное (от сжигания горючего сланца, каменного и бурого угля) с содержанием CaO не менее 30 % (в том числе свободной CaO 15–25 %), SiO₂ – 20–30 %, SO₃ не более 6 % и суммарного количества K₂O+Na₂O не более 3 %. Удельная поверхность должна быть 3000–3500 см²/г.

8. Кварцевый песок, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 8736-77, с содержанием кварца не менее 85 %, слюды не более 0,5 %, илистых и глинистых примесей не более 3 % и не более 1 % глинистых примесей типа монтмориллонита. Допускается применение полевошпатового песка с содержанием кварца не менее 60 %.

9. Тонкодисперсные вторичные продукты обогащения руд, содержащие SiO₂ не менее 60 %, железистых минералов не более 20 %, сернистых соединений в пересчете на SO₃ не более 2 %, едкой щелочи в пересчете на Na₂O не более 2 %, пылевидных, глинистых частиц не более 3 %, слюды не более 0,5 %.

10. Удельная поверхность (см²/г) молотого песка и вторичных продуктов обогащения руд в шламе для ячеистого бетона должна быть:

1500—2000	для	объемной	массы	800 кг/м ³
2000—2300	»	»	»	700 кг/м ³
2300—2700	»	»	»	600 кг/м ³
2700—3000	»	»	»	500 кг/м ³ и ниже

11. Плотность песчаного шлама из грубомолотого песка должна быть не менее 1,6 кг/л. Плотность шлама песка нормального помола (при вибрационном способе формования изделий) 1,68 кг/л; плотность шлама вторичных продуктов обогащения руд должна быть 1,75–1,8 кг/л.

12. Кислая зола-унос ТЭС с электрофильтров от сжигания углей должна иметь стекловидных и оплавленных частиц не менее 50 %; потери при прокаливании

вании должны быть не более 3 % для золы бурых углей и не более 5 % для золы каменных углей. Удельная поверхность зол бурого угля должна быть не менее 4000 см²/г и не более 5000 см²/г – для каменноугольных. Зола должна выдерживать испытания на равномерность изменения объема.

13. Карбонатные материалы следует применять с удельной поверхностью 2500–5000 см²/г в количестве 20–30 % массы цемента.

14. В качестве волокнистой добавки следует применять асбест 5-го и 6-го сортов, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 12871-67*.

15. Вода должна удовлетворять требованиям ГОСТ 23732-79.

7. Контроль технологического процесса

1. Подбор состава ячеистобетонной смеси должен производиться лабораторией предприятия при изменении требований проектных характеристик бетона или исходного сырья и технологии производства. Кроме того, в процессе работы предприятия лаборатория должна производить корректировку состава смеси в связи с возможными колебаниями свойств сырья.

2. Подбор состава ячеистобетонной смеси для опытных замесов должен назначаться с учетом исходных значений отношения C массы кремнеземистого компонента к массе вяжущего, приведенных в табл. 5.

Отношение $C_{св}$ массы кремнеземистого компонента к массе известково-цементного вяжущего устанавливают расчетом по формуле:

$$C_{св} = C_u n + C_u (1 - n), \quad (1)$$

где C_u и C_u – отношение массы кремнеземистого компонента соответственно к массе цемента и извести (в расчете на 100 % CaO+MgO);

n – доля цемента в вяжущем, которая находится в пределах 0,35–0,7 по массе.

3. Пена по качеству должна удовлетворять следующим требованиям: выход пор K не менее 15, коэффициент использования α не ниже 0,8.

4. Расчет газообразователя или водного раствора пенообразователя P_n на замес производят по формуле:

$$P_n = \frac{\Pi_z}{\alpha K} \cdot V, \quad (2)$$

где Π_z – пористость, определенная расчетным путем;

α – коэффициент использования пенообразователя;

K – выход пор (отношение объема пены или газа к массе пенообразователя, л/кг);

V – заданный объем ячеистобетонной смеси.

5. Водотвердое отношение (В/Т) должно назначаться для каждого состава, исходя из требований к текучести и температуре смеси, указанных в таблицах 6 и 7.

Вид вяжущего	Отношение кремнеземистого компонента к вяжущему (С) по массе в ячеистобетонной смеси
	для безавтоклавного бетона на золе-уноса
Цементное	0,75; 1; 1,25
Известково-шлаковое	0,6; 0,8; 1

Таблица 5

Заданная объемная масса ячеистого бетона, кг/м ²	Диаметр расплыва смеси по Суттарду, см		
	на цементном, известково-цементном, шлакощелочном вяжущем	на известковом, известково-шлаковом и известково-белитовом вяжущем	на высокоосновном зольном вяжущем
При литевом способе формирования			
300	38	30	—
400	34	25	25
500	30	23	23
600	26	21	21
700	22	19	20
800	18	17	18

Таблица 6

Вид ячеистого бетона в момент выгрузки в формы и применяемого вяжущего	Температура растворной смеси, град.,	
	при литевом способе формования	при вибрационном способе формования
Пенобетон на цементе	25	—
Пенобетон на шлакощелочном вяжущем	15	—

Таблица 7

6. Пористость Π_z следует рассчитывать по формуле:

$$\Pi_z = 1 - \frac{\gamma_c}{K_c} (W + B/T), \quad (3)$$

где γ_c – заданная объемная масса ячеистого бетона в сухом состоянии, кг/м³;
 K_c – коэффициент увеличения массы ячеистого бетона за счет связанной воды;
 W – удельный объем сухой смеси, л/кг;
 B/T – водотвердое отношение.

7. Удельный объем сухой смеси следует определять на основании опытного замеса и рассчитывать по формуле:

$$W = \frac{1 + B/T}{\gamma_p^\phi} - B/T, \quad (4)$$

где γ_p^ϕ – фактическая объемная масса растворной смеси.

8. В качестве исходных значений при расчетах по формулам (2) и (3) принимают: $K_c = 1,1$; $\alpha = 0,85$; $K = 1390$ л/кг при использовании алюминиевой пудры и $K = 20$ л/кг при использовании пены.

9. Расход материалов на замес определяют по формулам (5)–(11),

$$P_{\text{сух}} = \frac{\gamma_c}{K_c} V \quad (5)$$

$$P_{\text{ц}} = P_{\text{вяж}} n \quad (7)$$

$$P_{\text{иф}} = \frac{P_{\text{и}}}{A_\phi} 100 \quad (9)$$

$$P_{\text{вяж}} = \frac{P_{\text{сух}}}{1 + C} \quad (6)$$

$$P_{\text{и}} = P_{\text{вяж}} (1 - n) \quad (8)$$

$$P_{\text{в}} = P_{\text{сух}} B/T \quad (10)$$

$$P_{\text{к}} = P_{\text{сух}} - (P_{\text{ц}} + P_{\text{иф}}) \quad (11)$$

где $P_{\text{сух}}$ – расход материалов на замес, кг;

γ_c – объемная масса ячеистого бетона, высушенного до постоянного состояния, кг/м³;

K_c – коэффициент увеличения массы в результате твердения за счет связанной воды. Для предварительных расчетов принимают равным 1,1;

V – заданный объем одновременно формуемых изделий, увеличенный с учетом образования «горбушки» на 7–10 % для индивидуальных форм и 3–5 % для массивов, л;

$P_{\text{вяж}}$ – масса вяжущего, кг;

$P_{\text{ц}}$ – масса цемента, кг;

n – доля цемента в смешанном вяжущем;

P_u – масса извести, содержащей 100 % CaO, кг;

$P_{иф}$ – масса извести с фактическим содержанием CaO, кг;

$A_{ф}$ – фактическое содержание CaO в извести, %;

P_v – масса воды, кг;

P_k – масса кремнеземистого компонента, кг.

10. На основании соответствия результатов испытаний образцов из опытных замесов ячеистобетонной смеси требуемым показателям по объемной массе и прочности при сжатии ячеистого бетона следует назначать рабочий состав ячеистобетонной смеси.

11. После производственной проверки рабочего состава ячеистобетонной смеси должны быть составлены таблицы расхода материалов на 1 м³ бетона и на замес, а также технологические карты производства изделий.

8. Технологический процесс изготовления изделий из пенобетона

1. Приготавливать пенобетонную смесь следует в двухбарабанной пенобетономешалке Фомм-Проф. В одном барабане из водного раствора пенообразователя в течение 5 мин приготавливают пену, в другом, в течение 5 мин, раствор из вяжущего, кремнеземистого компонента и воды. Пену выгружают в барабан с раствором и смесь перемешивают не менее 2 мин. Пенобетонная смесь нескольких замесов выгружается для усреднения в промежуточный бункер, затем в раздаточный кубель для заполнения форм. В промежуточном бункере пенобетонная смесь не должна находиться более 20 мин.

2. Дозирование вяжущего и кремнеземистого компонента следует производить по массе весовыми дозаторами с точностью $\pm 1\%$ для вяжущего и $\pm 2\%$ для кремнеземистого компонента.

3. Формование изделий следует производить в соответствии с технологической схемой принятого способа производства.

4. Стальные формы для формования изделий или крупных массивов должны удовлетворять требованиям ГОСТ 13886-73* и других действующих стандартов на стальные формы. Поддон и бортоснастка должны быть тщательно очищены, смазаны и подогреты до температуры 40 °С. При формовании изделий с применением отделочного материала, укладываемого на дно формы, поддон не смазывается.

5. Для смазки форм следует применять смазку форм Компил. Смазку надо наносить из расчета 200 г разведенной смазки на 1 м² смазываемой поверхности форм.

6. При установке в формы арматурные каркасы, сетки и закладные детали не должны иметь искривлений стержней и механических повреждений. Укрупнительную сборку каркасов необходимо производить в специальных кондук-

торах. Закладные детали и арматурные каркасы должны быть закреплены в форме для предупреждения их сдвига во время заливки ячеистобетонной смеси и ее вспучивания. Отклонение от проектного положения размещения арматурного каркаса в форме не должно превышать допустимых пределов, указанных в ГОСТе или рабочих чертежах на изделия.

7. Для обеспечения требуемой толщины защитного слоя бетона (не менее 25 мм) арматурные каркасы и сетки надо размещать на подкладках-фиксаторах.

8. Изделия из пенобетонной смеси, формируемые литьевым способом, необходимо перед тепловлажностной обработкой выдерживать в помещении при температуре воздуха 18–20 °С не менее 8 ч. При этом поверхность изделий надо предохранять от интенсивного высыхания.

9. Подъем, транспортировку и укладку на вагонетки форм с отформованными изделиями следует производить шарнирными траверсами, предотвращающими перекос форм. Применение гибких строп не допускается.

9. Требования к технике безопасности

При изготовлении изделий необходимо соблюдать правила техники безопасности и производственной санитарии на предприятиях ячеистого бетона, а также правила противопожарной безопасности.

Правила техники безопасности следует соблюдать согласно СВОДУ ПРАВИЛ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И СТРОИТЕЛЬСТВУ «БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ СП 12-132-99».

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Заключение о звукоизоляции перегородок из пенобетонных блоков

Заключение получено ООО «Строй-Бетон»
(производитель оборудования для производства пенобетона)

www.ibeton.ru

ibeton@mail.ru

ООО «Строй-Бетон» производит пенобетонные блоки объемной плотностью 600, 700, 800, 900 и 1000 кг/м³ и толщиной 100, 200 и 400 мм. Эти блоки предназначены для возведения внутренних перегородок в жилых и общественных зданиях. Область применения перегородок определяется, помимо всего прочего, ее звукоизолирующей способностью, которая оценивается индексом изоляции воздушного шума R_w в дБ. Этот индекс вычисляется путем сравнения нормативной и рассчитанной (измеренной) частотной характеристик звукоизоляции. Расчет производится в соответствии с документом [1]. Полученный расчетом индекс изоляции воздушного шума ограждающей конструкцией сравнивается с нормативными значениями, приведенными в документах [1], [2]. Старые индексы изоляции воздушного шума I_w , представленные в документе [3], связаны с индексом R_w следующим соотношением: $R_w = I_w + 2 \text{ дБ}$. Предполагается, что упомянутые выше перегородки будут разделять помещения (комнаты) одной квартиры. В этом случае требуемый индекс R_w должен быть не менее 43 дБ. Ниже представлены результаты расчетов перегородок, выполненных из пенобетонных блоков толщиной 100 мм и с $\gamma = 800, 900$ и 1000 кг/м³. Расчеты сделаны в предположении, что все строительные работы производились с высоким качеством, в перегородках нет сквозных отверстий и щелей, и все швы и стыки плотно заделаны на всю глубину. Кроме того, перегородки должны быть тщательно зашпаклеваны с двух сторон; толщина шпаклевки с каждой стороны – по 5 мм при $\gamma = 2000$ кг/м³.

Результаты расчетов

1. Перегородки зашпаклеваны, $\gamma = 800$ кг/м³ – см. *таблицу 1*.
2. Перегородки зашпаклеваны, $\gamma = 900$ кг/м³ – см. *таблицу 2*.
3. Перегородки зашпаклеваны, $\gamma = 1000$ кг/м³ – см. *таблицу 3*.

Если эти же перегородки будут оштукатурены с двух сторон (толщина штукатурки с каждой стороны 10 мм при $\gamma = 2000$ кг/м³), то их звукоизоляция будет иметь следующие значения:

Расчет индекса изоляции воздушного шума ограждением - R _в (1/3 окт.)																
f, Гц	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
R _н , дБ (Ст. ИСО 717)	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56
R _в , дБ	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	33,5	35,5	37,5	39,5	41,5	43,5	45,5	47,5	49,5	51,5
dR, дБ	-1,5	-4,5	-7,5	-10,5	-13,5	-16,5	-17,5	-16,5	-15,5	-14,5	-13,5	-12,5	-10,5	-8,5	-6,5	-4,5
Σ(-)<=32	-17,4															
сдвинутая R _н	22,0	25,0	28,0	31,0	34,0	37,0	40,0	41,0	42,0	43,0	44,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0
новая dR, дБ	9,5	6,5	3,5	0,5	-2,5	-5,5	-6,5	-5,5	-4,5	-3,5	-2,5	-1,5	0,5	2,5	4,5	6,5
новая Σ(-)<=32	-32															
сдвиг норм. кривой	-11															
R _в , дБ	41															

Таблица 1

Расчет индекса изоляции воздушного шума ограждением – R _в (1/3 окт.)																
f, Гц	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
R _н , дБ (Ст.ИСО 717)	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56
R _в , дБ	32,1	32,1	32,1	32,1	32,1	32,1	34,1	36,1	38,1	40,1	42,1	44,1	46,1	48,1	50,1	52,1
dR, дБ	-0,9	-3,9	-6,9	-9,9	-12,9	-15,9	-16,9	-15,9	-14,9	-13,9	-12,9	-11,9	-9,9	-7,9	-5,9	-3,9
Σ(-)<=32	-164,4															
сдвинутая R _н	22,5	25,5	28,5	31,5	34,5	37,5	40,5	41,5	42,5	43,5	44,5	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5
новая dR, дБ	9,6	6,6	3,6	0,6	-2,4	-5,4	-6,4	-5,4	-4,4	-3,4	-2,4	-1,4	0,6	2,6	4,6	6,6
новая Σ(-)<=32	-31,2															
сдвиг норм.кривой	-10,5															
R _в , дБ	41,5															

Таблица 2

Расчет индекса изоляции воздушного шума ограждением – R _в (1/3 окт.)																
f, Гц	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
R _н , дБ(Ст.ИСО 717)	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56
R _ф , дБ	32,6	32,6	32,6	32,6	32,6	32,6	34,6	36,6	38,6	40,6	42,6	44,6	46,6	48,6	50,6	52,6
dR, дБ	-0,4	-3,4	-6,4	-9,4	-12,4	-15,4	-16,4	-15,4	-14,4	-13,4	-12,4	-11,4	-9,4	-7,4	-5,4	-3,4
Σ(-)≤32	-156,4															
сдвинутая R _н	23,0	26,0	29,0	32,0	35,0	38,0	41,0	42,0	43,0	44,0	45,0	46,0	46,0	46,0	46,0	46,0
новая dR, дБ	9,6	6,6	3,6	0,6	-2,4	-5,4	-6,4	-5,4	-4,4	-3,4	-2,4	-1,4	0,6	2,6	4,6	6,6
новая Σ(-)≤32	-31,2															
сдвиг норм.кривой	-10															
R _в , дБ	42															

Таблица 3

Расчет индекса изоляции воздушного шума ограждением – R _в (1/3 окт.)																
f, Гц	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
R _н , дБ(Ст.ИСО 717)	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56
R _ф , дБ	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	34,5	36,5	38,5	40,5	42,5	44,5	46,5	48,5	50,5	52,5
dR, дБ	-0,5	-3,5	-6,5	-9,5	-12,5	-15,5	-16,5	-15,5	-14,5	-13,5	-12,5	-11,5	-9,5	-7,5	-5,5	-3,5
Σ(-)≤32	-158															
сдвинутая R _н	23,0	26,0	29,0	32,0	35,0	38,0	41,0	42,0	43,0	44,0	45,0	46,0	46,0	46,0	46,0	46,0
новая dR, дБ	9,5	6,5	3,5	0,5	-2,5	-5,5	-6,5	-5,5	-4,5	-3,5	-2,5	-1,5	0,5	2,5	4,5	6,5
новая Σ(-)≤32	-32															
сдвиг норм.кривой	-10															
R _в , дБ	42															

Таблица 4

Расчет индекса изоляции воздушного шума ограждением – R _в (1/3 окт.)																
f, Гц	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
R _н , дБ(Ст.ИСО 717)	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56
R _в , дБ	33	33	33	33	33	33	35	37	39	41	43	45	47	49	51	53
dR, дБ	0	-3	-6	-9	-12	-15	-16	-15	-14	-13	-12	-11	-9	-7	-5	-3
Σ(-)<=32	-150															
сдвинутая R _н	23,5	26,5	29,5	32,5	35,5	38,5	41,5	42,5	43,5	44,5	45,5	46,5	46,5	46,5	46,5	46,5
новая dR, дБ	9,5	6,5	3,5	0,5	-2,5	-5,5	-6,5	-5,5	-4,5	-3,5	-2,5	-1,5	0,5	2,5	4,5	6,5
новая Σ(-)<=32	-32															
сдвиг норм.кривой	-9,5															
R _в , дБ	42,5															

Таблица 5

Расчет индекса изоляции воздушного шума ограждением – R _в (1/3 окт.)																
f, Гц	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
R _н , дБ(Ст.ИСО 717)	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56
R _в , дБ	33,5	33,5	33,5	33,5	33,5	33,5	35,5	37,5	39,5	41,5	43,5	45,5	47,5	49,5	51,5	53,5
dR, дБ	0,5	-2,5	-5,5	-8,5	-11,5	-14,5	-15,5	-14,5	-13,5	-12,5	-11,5	-10,5	-8,5	-6,5	-4,5	-2,5
Σ(-)<=32	-142,5															
сдвинутая R _н	24,0	27,0	30,0	33,0	36,0	39,0	42,0	43,0	44,0	45,0	46,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0
новая dR, дБ	9,5	6,5	3,5	0,5	-2,5	-5,5	-6,5	-5,5	-4,5	-3,5	-2,5	-1,5	0,5	2,5	4,5	6,5
новая Σ(-)<=32	-32															
сдвиг норм.кривой	-9															
R _в , дБ	43															

Таблица 6

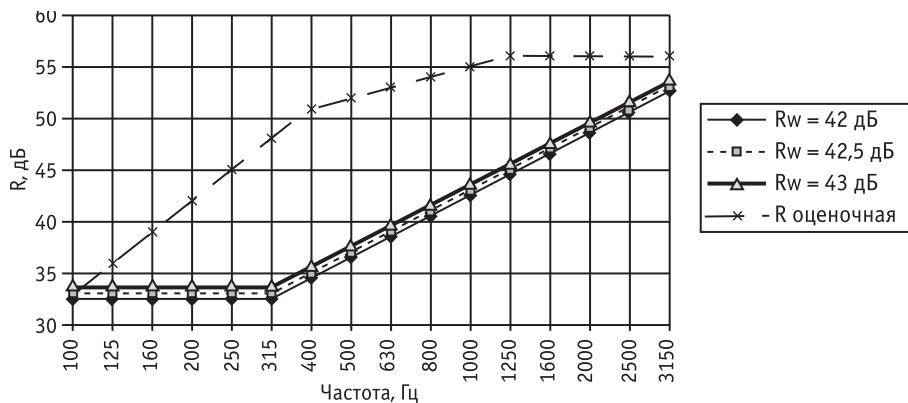


Рис. 1. Изоляция воздушного шума перегородками со штукатуркой

1. $\gamma = 800 \text{ кг/м}^3$ – см. таблицу 4.
2. $\gamma = 900 \text{ кг/м}^3$ – см. таблицу 5.
3. $\gamma = 1000 \text{ кг/м}^3$ – см. таблицу 6.

Для наглядности, результаты расчетов в виде частотных характеристик изоляции воздушного шума перегородками представлены на графиках рисунков 1 и 2. Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы.

1. Индексы изоляции воздушного шума зашпаклеванными перегородками из пенобетонных блоков с объемной плотностью $800\text{--}1000 \text{ кг/м}^3$ немного ниже индексов изоляции воздушного шума оштукатуренными перегородками (рис. 1).
2. В том случае, когда рассматриваемые пенобетонные перегородки стыкуются с перекрытиями и стенами, толщина которых в два и более раза

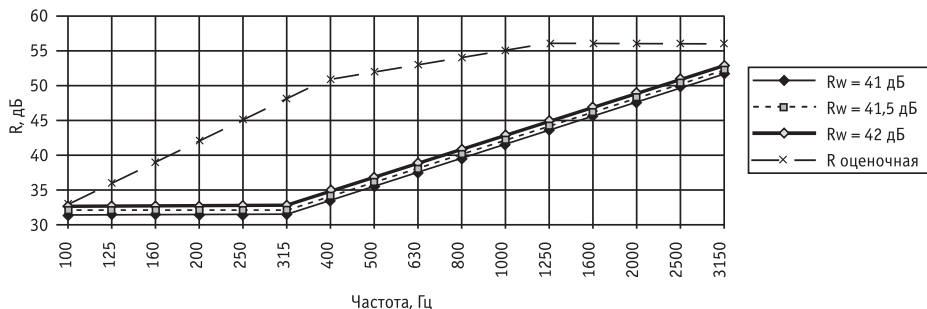


Рис. 2. Изоляция воздушного шума перегородками со шпаклевкой

больше толщины перегородок, их индекс изоляции воздушного шума возрастает на 1 дБ [1]. При этом зашпаклеванные перегородки с объемной плотностью 900–1000 кг/м³ и оштукатуренные перегородки с объемной плотностью 800–900 кг/м³ будут обеспечивать нормативный индекс изоляции воздушного шума.

3. Двойные оштукатуренные или зашпаклеванные (со стороны помещений) пенобетонные ограждения толщиной 100 мм, с объемной плотностью 800–1000 кг/м³ и с воздушным промежутком между панелями не менее 50 мм можно применять в качестве перегородок между квартирами, так как они обеспечивают индекс изоляции воздушного шума $R_w \geq 51$ дБ, что соответствует требуемым значениям [2], [3].

Используемые источники

1. Пособие к МГСН 2.04-97. Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий.
2. МГСН 2.04-97. Допустимые уровни шума, вибрации и требования к звукоизоляции в жилых и общественных зданиях.
3. СНиП II-12-77. Защита от шума.

Заведующий лабораторией акустики
ГУП МНИИП «Моспроект-4», к. т. н., с. н. с.

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Список использованной литературы и «Библиотеку строителя» вы найдете **на CD-диске**, который прилагается к книге.

**С. Ружинский
А. Портик
А. Савиных**

ВСЕ О ПЕНОБЕТОНЕ

Издание второе,
улучшенное и дополненное

Ответственный редактор: *Анна Гурьева*
Корректор: *Сергей Бондарчук*
Подготовка к печати: *Евгений Муштай, Юрий Гришов*

Тираж 1000 экз.

Издатель: ООО «Строй-Бетон»

Отпечатано в типографии «ИнфоОл»
Санкт-Петербург, ул. Рентгена, д. 1
Тел.: (812) 346-11-06, 325-13-15